This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

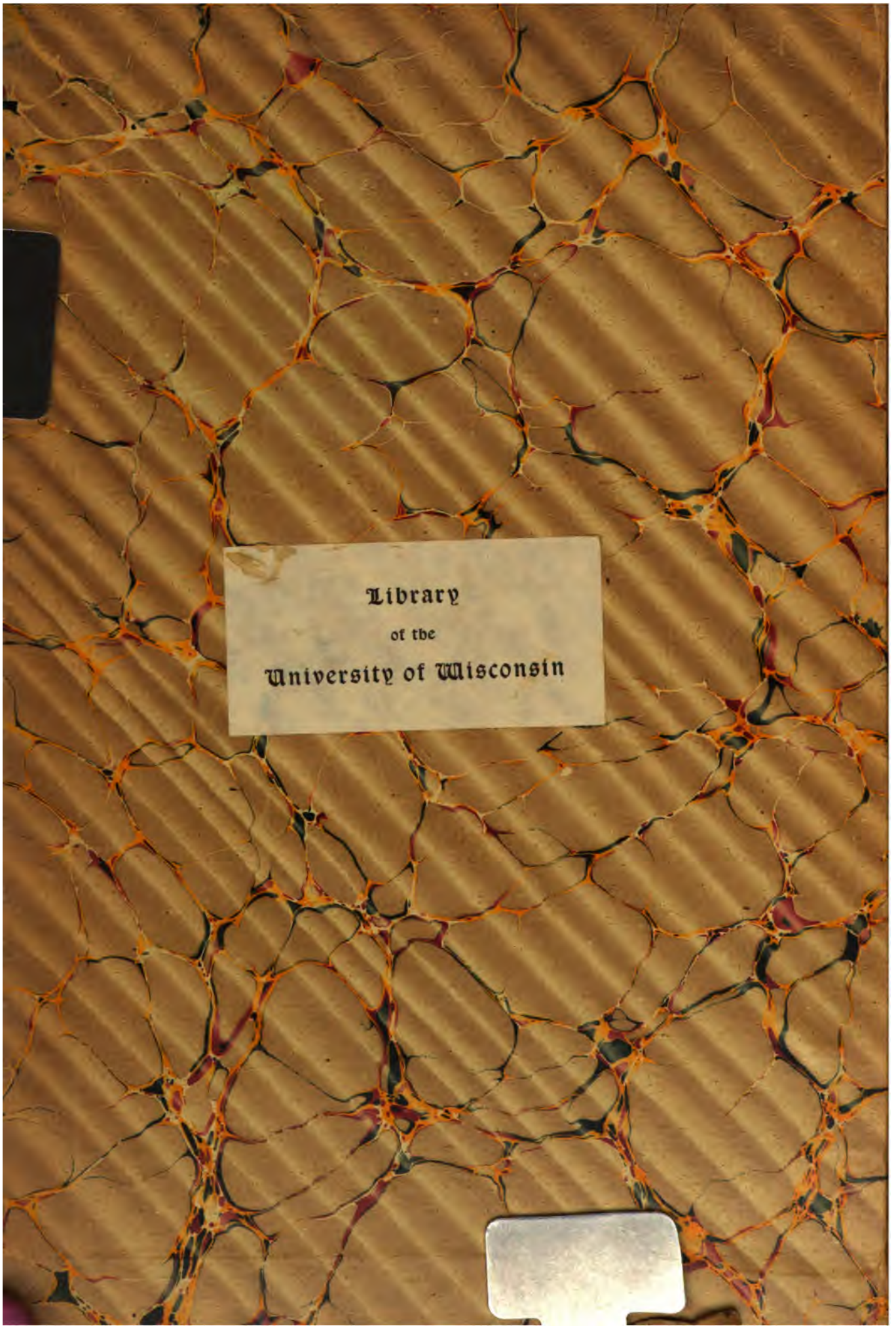
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

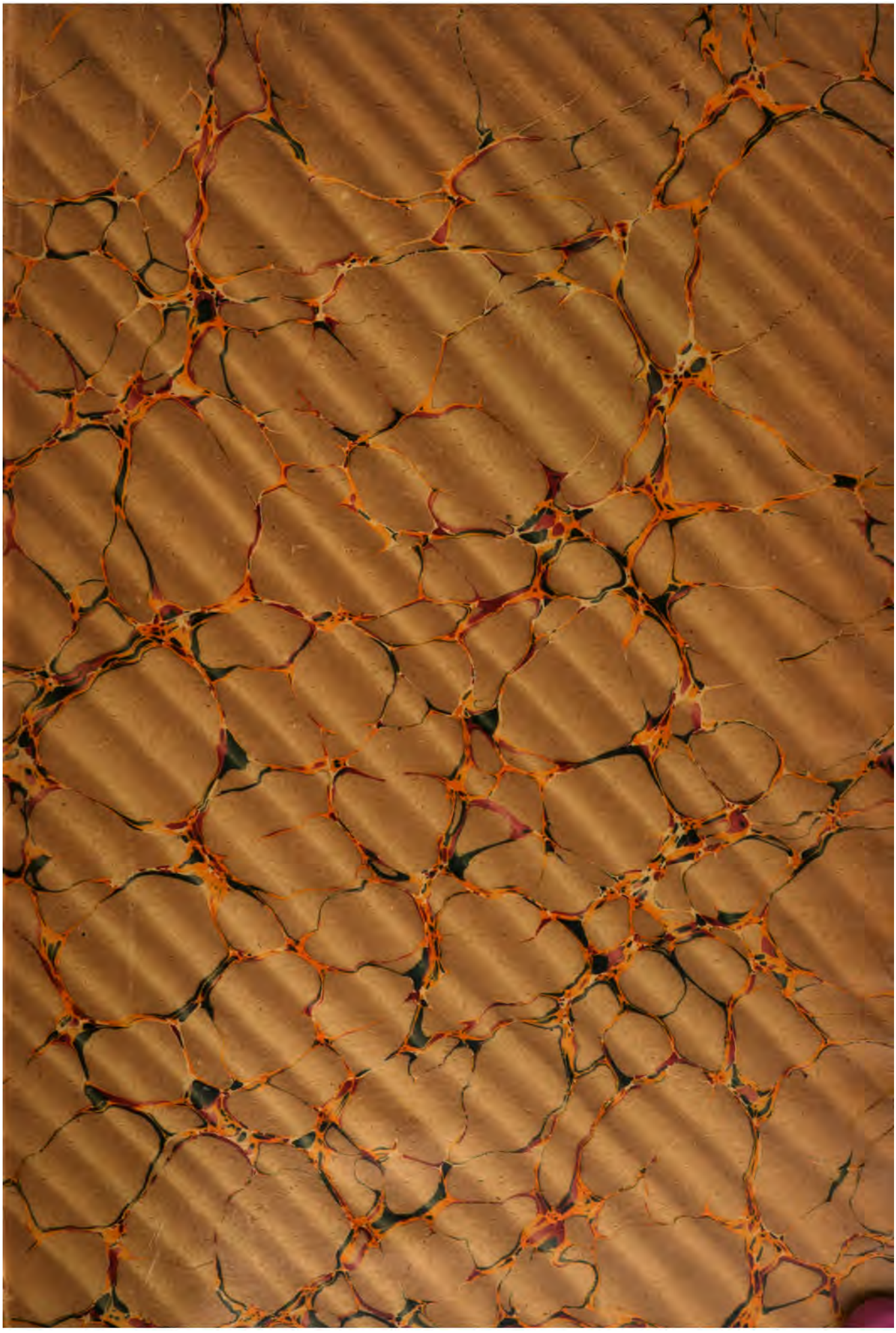
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

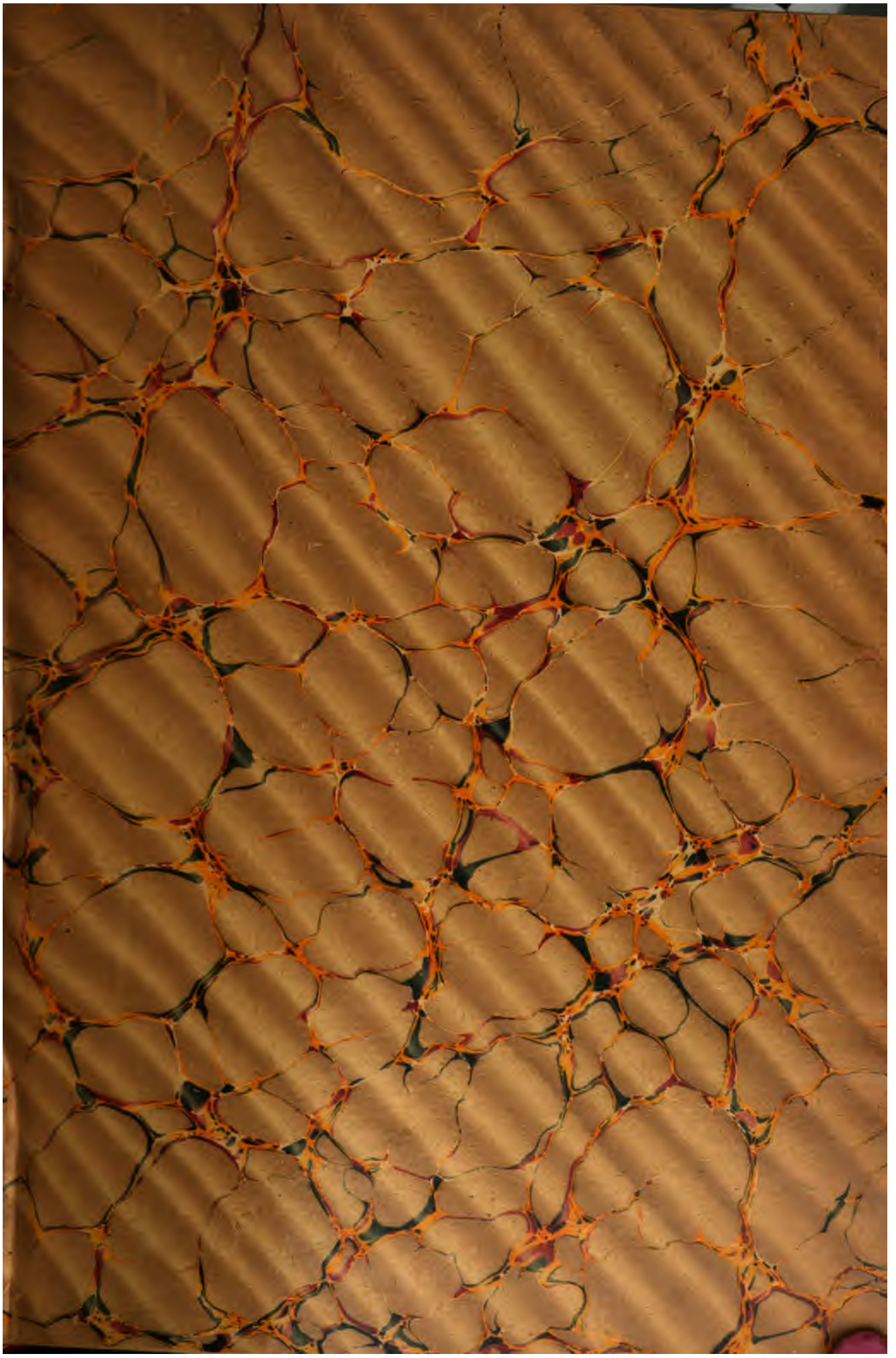
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


Library
of the
University of Wisconsin



Library
of the
University of Wisconsin



TRAITÉ COMPLET

DES

CHEMINS DE FER

TRAITÉ COMPLET

DES

CHEMINS DE FER

HISTORIQUE ET ORGANISATION FINANCIÈRE
CONSTRUCTION DE LA PLATE-FORME — OUVRAGES D'ART
VOIES — STATIONS — SIGNAUX
MATÉRIEL ROULANT — TRACTION — EXPLOITATION
CHEMINS DE FER A VOIE ÉTROITE — TRAMWAYS

PAR

G. HUMBERT

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES
INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT AU CHEF DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT

TOME DEUXIÈME

Deuxième édition, revue et mise à jour.

PARIS ET LIÈGE

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
(Successeur de BAUDRY et Cie)
PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1908
Tous droits réservés.

119992
JUN 16 1908
SS
.H88
2
6392413

TRAITÉ COMPLET

DES

CHEMINS DE FER

TROISIÈME PARTIE

SUPERSTRUCTURE

(SUITE)

LIVRE SECOND

GARES ET STATIONS

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE

§ 1er. — Haltes.
§ 2. — Petites stations. — Service des voyageurs. — Service des marchandises. — Dispositions adoptées dans le cas d'exploitation par trains mixtes. — Variantes. — Longueur des voies de garage. — Emplacement des petites stations. — Règle pratique. — Stations à service restreint.
§ 3. — Stations de moyenne importance. — Lignes à voie unique. — Service des voyageurs, service des marchandises, service des machines. — Lignes à double voie.
§ 4. — Gares principales. — Service des voyageurs, service des marchandises, service de la traction. — Gares de bifurcation. — Gares terminales. — Gares de rebroussement. — Gares de Paris. — Service des voyageurs. — Dispositions spéciales au service de la banlieue. — Gare Saint-Lazare. — Ancienne et nouvelle disposition. — Gare du Nord. — Service des marchandises. — Gares de triage. — Triage par la gravité. — Opinion du Congrès international des chemins de fer. — Exemple d'établissement d'une gare de triage. — Gare de Périgueux.

Les gares ou stations sont les points d'un chemin de fer où s'arrêtent les trains pour prendre ou déposer des voyageurs ou des marchandises.

Nous avons montré précédemment (IIe partie, chap. II) l'importance capitale qu'il y a à placer d'une manière convenable ces point d'arrêt, en tenant compte des différents intérêts engagés. Nous n'y reviendrons pas, nous dirons seulement quelques mots de l'espacement qu'on doit ménager entre eux.

Espacement des stations. — Il faut, pour qu'un chemin de fer desserve convenablement la région qu'il traverse, que les stations n'y soient pas trop éloignées l'une de l'autre ; mais, d'un autre côté, pour que la dépense d'établissement de la ligne ne soit pas trop élevée et l'exploitation incommode, il faut que ces points d'arrêt ne soient pas trop rapprochés. Il y a là une limite que l'expérience seule peut faire connaître.

Au 31 décembre 1885, sur les différentes lignes du réseau français d'intérêt général, l'espacement moyen entre les stations était le suivant :

Nord	5 578 m.
Est	5 724 —
Ouest	6 519 —
Orléans	7 335 —
P.-L.-M.	6 403 —
Midi	5 858 —
État	6 465 —

Il est bon de remarquer que ces chiffres moyens sont obtenus en prenant toutes les stations et haltes, y compris celles des lignes qui avoisinent Paris et les grandes villes, telles que Lyon, Marseille, Bordeaux, où la distance des stations est beaucoup plus faible que sur le reste du réseau. Dans le voisinage des grandes villes, la moyenne descend à 5 kilomètres à peu près ; pour le reste, l'espacement moyen est de 8 à 9 kilomètres. Il y a d'ailleurs des écarts assez notables, en plus ou en moins, entre ces chiffres moyens et les chiffres extrêmes. On admet, en tout cas, que la distance entre deux stations ne doit pas en général dépasser 15 kilomètres.

Classification des stations. — Pour faire l'exposé des dispositions d'ensemble des gares et stations, nous les diviserons en quatre classes, savoir : les haltes, les petites stations, les stations de moyenne importance, les gares principales. En réalité, les dispositions des diverses stations varient par degrés insensibles, suivant les conditions locales et l'importance des villes qu'elles desservent, et les différences qui existent entre elles font qu'elles constituent pour ainsi dire autant de types particuliers; ceux que nous allons passer en revue sont les types les plus importants et ils suffiront pour donner une idée de la manière de résoudre le mieux possible le problème posé, savoir : assurer convenablement tous les services avec le minimum de dépense. Nous ferons, dans cet exposé, de larges emprunts au *Cours de Chemins de fer* de M. Sévène, qui est considéré, à juste titre, comme un modèle de clarté sur ce sujet complexe.

§ 1er. — HALTES

Les haltes sont de simples points d'arrêt destinés à desservir des localités peu fréquentées.

On les installe généralement auprès d'un passage à niveau et le garde-barrière est chargé du service de la distribution des billets. Elles ne sont ouvertes qu'au service des voyageurs et des messageries et ne comportent aucune disposition spéciale dans les voies. Un simple trottoir le long de ces dernières et une petite annexe à la maison du garde constituent tout l'aménagement des haltes.

Ces installations on été pendant longtemps assez rares en France, où l'on pensait que, lorsque le trafic qu'on peut attendre d'une localité n'était pas assez grand pour justifier l'établissement d'une véritable station, il était préférable de ne pas imposer à tous les voyageurs des trains qui y passent le retard résultant d'un arrêt à une halte. Les idées se sont un peu modifiées sur ce point depuis quelques années et le nombre des haltes a augmenté. On a reconnu qu'elles pouvaient, dans bien des cas, rendre des services assez importants et apporter au chemin de fer un certain trafic qui n'est pas négligeable. On peut d'ailleurs n'y pas faire arrêter tous les trains qui circulent sur la ligne où on les établit et éviter ainsi l'inconvénient du retard imposé aux voyageurs de grand parcours.

Au surplus l'installation d'une halte a presque toujours pour effet de provoquer dans le voisinage un certain accroissement d'activité et, au bout de quelques années, l'importance du mouvement devient assez grande pour justifier la transformation de la halte en véritable station.

§ 2. — PETITES STATIONS

Nous avons en vue une station destinée à un faible trafic et nous la supposerons d'abord placée sur une ligne à voie unique, sur laquelle circulent des trains mixtes, c'est-à-dire des trains comportant à la fois des voitures à voyageurs et des wagons à marchandises.

Pour permettre le croisement des trains, une double voie est établie dans la traversée de la gare, réunie à chacune de ses extrémités par un branchement simple ; ces deux voies forment les deux voies principales, et elles portent les numéros 1 et 2, la première étant parcourue par les trains impairs, la seconde par les trains pairs. Les installations destinées au service des voyageurs seront les suivantes (fig. 314) :

1° Deux trottoirs T et T' le long de chaque voie, pour l'embarquement et le débarquement des voyageurs. Ces trottoirs devront avoir une longueur à

peu près égale à celle des voitures à voyageurs dans les trains, laquelle ne dépasse guère 100 mètres, soit 14 ou 15 voitures :

2° Un bâtiment, appelé *bâtiment des voyageurs*, V, destiné à recevoir les voyageurs, à leur donner leurs billets, à enregistrer leurs bagages ;

3° Un abri, V', pour permettre à ceux qui doivent s'embarquer sur la voie 2 de stationner en attendant le train, sans être exposés à la pluie ;

4° Une cour, annexée au bâtiment, et destinée au stationnement des voitures et des omnibus qui amènent et emportent les voyageurs ;

5° Des cabinets d'aisance, L.

Les installations nécessaires pour le service des marchandises sont :

1° Un quai, sur lequel on puisse déposer les marchandises amenées par les voitures de la localité en attendant qu'elles soient chargées dans les trains et réciproquement. Ce quai doit être divisé en deux parties : l'une, destinée aux marchandises qui peuvent sans inconvénient être exposées aux intempéries, comme les pierres, le fer, etc., reste découverte ; l'autre est couverte et forme la halle H, destinée aux marchandises qui, comme les grains, les farines, etc., demandent à être abritées. Ce quai est établi à une hauteur de 1 mètre environ au-dessus du sol, pour faciliter le chargement et le déchargement des marchandises ;

2° Une cour, destinée au stationnement des voitures qui amènent les marchandises ou les emportent ;

3° Une voie (5), permettant aux wagons d'accéder le long du quai. Nous

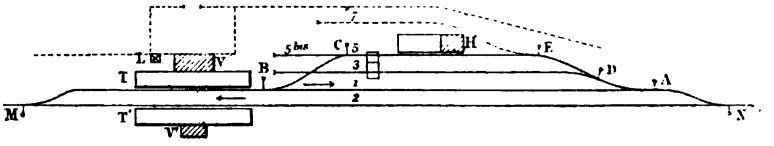


Fig. 314. — Petite station pour ligne à voie unique. Type n° 1.

supposerons d'abord que cette voie est reliée par une seule aiguille (A) à la voie principale la plus rapprochée.

Cela posé, voici comment se ferait la manœuvre des wagons.

Supposons qu'un train impair ait à laisser des wagons dans la station. Il s'arrêtera de manière à placer les voitures à voyageurs, toujours situées en queue du train, devant le trottoir T ; le train étant ensuite coupé derrière les wagons à laisser, la machine emmènera la tête du train jusqu'à l'aiguille A et refoulera sur la voie 5, où elle laissera ses wagons.

S'il y a en même temps des wagons à prendre, la machine les tirera d'abord de la voie 5, les conduira jusqu'au train ; puis elle laissera les wagons à destination de la gare, comme nous venons de le dire.

Supposons maintenant qu'il s'agisse d'un train pair. Les voitures à voyageurs étant arrêtées devant le trottoir T', la machine emmènera la tête du

train au delà de l'aiguille M, puis elle refoulera sur la voie 1 jusqu'à l'aiguille A, où elle prendra et laissera des wagons. Dans ce cas, la manœuvre ne peut être faite complètement par la machine. Il faut que les wagons à prendre ou à laisser soient poussés à bras d'homme de la voie 5 sur la voie 1 et réciproquement.

La manœuvre pour les trains pairs est longue et compliquée; elle est admissible sur les lignes où circulent des trains de marchandises, qui peuvent stationner dans les gares pendant un temps assez long. Elle ne serait pas admissible sur les lignes desservies uniquement par des trains mixtes, parce que le stationnement des trains dans les gares deviendrait beaucoup trop long et intolérable pour les voyageurs.

On peut simplifier beaucoup cette manœuvre en installant une seconde aiguille sur la voie 1. La voie 5 est alors reliée à la voie 1 à ses deux extrémités par des aiguilles A et B et la manœuvre se fait de la manière suivante. La machine, après avoir dépassé l'aiguille M, refoule sur la voie 1 jusqu'à l'aiguille B, par laquelle elle prend ou laisse des wagons sur la voie 5. La manœuvre s'effectue alors complètement à la machine et beaucoup plus rapidement.

La voie en cul-de-sac 5 *bis*, reliée à la voie 5 par l'aiguille C, est destinée dans ce cas à recevoir les wagons qui sont chargés directement par les expéditeurs ou à retirer des wagons qui gêneraient la manœuvre sur la voie 5. Elle peut rendre de grands services.

Avec les dispositions ci-dessus, une voie de marchandises en cul-de-sac sur les lignes où circulent des trains de marchandises, ou bien une voie de marchandises branchée aux deux bouts sur la voie principale pour les lignes desservies par des trains mixtes, la station peut suffire à un trafic de 2 000 à 3 000 tonnes par an.

Quand le mouvement des marchandises dépasse ce tonnage, il faut poser une 2e voie de marchandises, la voie n° 3, branchée sur la voie 5 par une aiguille D et communiquant avec elle par deux plaques ou par un chariot à fosse. La capacité de trafic se trouve alors beaucoup augmentée. Les wagons peuvent se dégager de la voie 5 sur la voie 3 et les manœuvres se font bien plus rapidement.

Avec ces deux voies de marchandises, la station peut facilement desservir un mouvement annuel de 10 000 à 15 000 tonnes. En outre, cette disposition se prête facilement à une nouvelle augmentation de trafic, attendu qu'elle permet de poser une voie 7, figurée en pointillé sur la figure 314, reliée par une aiguille E à la voie 5 et pouvant communiquer avec elle au moyen de plaques. Le chariot à fosse est alors supprimé et les trois voies 3, 5, 7 sont réunies par une batterie de plaques.

La voie 7 porte le nom de *voie de débord;* elle sert principalement pour

les marchandises qui passent directement de la voiture au wagon et réciproquement, sans emprunter les quais.

L'exposé qui précède se rapporte au cas où le bâtiment des voyageurs et le quai des marchandises sont placés du même côté des voies. Il peut y avoir avantage à placer les marchandises du côté opposé aux voyageurs. En effet, nous avons vu que, dans le type ci-dessus, les manœuvres pour les trains pairs sont plus longues et plus pénibles que pour les trains impairs, surtout quand la voie 5 est en cul-de-sac ; il est clair dès lors que, si le mouvement des marchandises est beaucoup plus important dans la direction des trains pairs, il y aura tout intérêt à placer les installations qui s'y rapportent du côté de la voie 2.

La figure 315 représente un type de station répondant à ce cas. Il comporte, outre les deux voies principales 1 et 2, une voie de marchandises 6, qui peut être branchée sur la voie 2 par une seule aiguille A, ou par deux

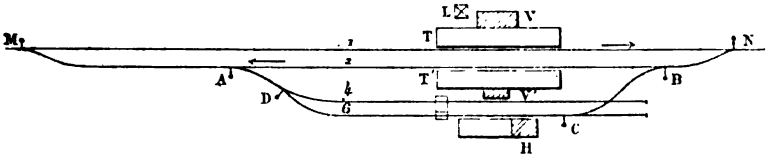


Fig. 315. — Petite station pour ligne à voie unique. Type n° 2.

aiguilles A et B. Alors les manœuvres pour les trains pairs deviennent faciles et s'effectuent entièrement à la machine ; ce sont celles des trains impairs qui sont plus longues et qui se trouvent améliorées par la pose de l'aiguille B sur la voie 2. Pour le surplus, il n'y a pas de différence entre ce type et le précédent.

Occupons-nous maintenant d'une petite station placée sur une ligne à double voie. Il n'y a pas en général, à se préoccuper dans ce cas des trains mixtes, attendu que les lignes à double voie ont toujours un trafic suffisant pour qu'on y fasse circuler des trains destinés spécialement au service des marchandises. Il n'y a guère d'exception que pour certaines lignes que des considérations stratégiques ont fait établir à deux voies, malgré leur faible trafic. Ces lignes sont alors desservies en temps de paix par des trains mixtes comme les petites lignes à voie unique; nous verrons plus loin comment on peut disposer les voies de leurs stations.

Pour le moment, nous supposons une ligne à deux voies desservie par des trains de voyageurs et des trains spéciaux de marchandises.

Les installations du service des voyageurs sont les mêmes que pour les lignes à une voie ; quant à celles du service des marchandises, elles diffèrent un peu, voici pourquoi.

Reprenons le type de la figure 314 et représentons seulement les voies (fig. 316). Les deux voies principales 1 et 2 sont continues et ne doivent

pas comporter d'aiguille en pointe ; la voie 3 sera donc branchée sur la voie 1 par une seule aiguille A et se terminera en cul-de-sac. Dès lors, les

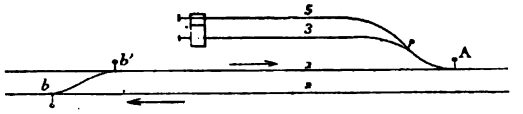


Fig. 316. — Disposition des voies d'une petite station sur une ligne à double voie.

manœuvres des trains de marchandises impairs se feront comme dans le cas de la voie unique ; mais celles des trains pairs ne pourront pas se faire du tout, s'il n'existe entre les voies 1 et 2 aucune communication dans la gare. Il faut donc établir cette communication en reliant ces deux voies au moyen d'une traversée à bretelles *bb'*, et pour que la machine des trains pairs puisse trouver cette bretelle sur le chemin qu'elle doit parcourir, il faut la mettre au delà de la station dans le sens de la marche de ces trains. Dès lors, la manœuvre se fera en avançant jusqu'au delà de l'aiguille *b*, puis en refoulant par la bretelle *bb'* sur la voie 1 jusqu'à l'aiguille A, où l'on prendra et laissera des wagons au moyen d'une manœuvre à bras.

Quand la ligne à deux voies doit être exploitée au moyen de trains mixtes, la disposition des voies doit être modifiée. Le type n° 1 ne se prête pas commodément à la modification ; il vaut mieux adopter le type n° 2, complété comme l'indique la figure 317. Une diagonale *bb'* établit la communication entre les deux voies principales ; quant aux voies de marchan-

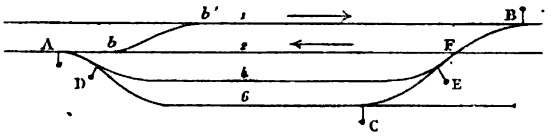


Fig. 317. — Disposition des voies d'une station sur une ligne à double voie exploitée par des trains mixtes.

dises 4 et 6, elles sont reliées à la voie 1 au moyen d'une traversée oblique en F. Il n'y a, de cette manière, aucune aiguille en pointe sur les voies principales et les manœuvres se font comme dans le cas de la voie unique.

On vient de voir que, lorsqu'on adopte les dispositions de la figure 316, il y a toujours une des deux directions sur laquelle les manœuvres de wagons se font plus difficilement que sur l'autre. Cela n'a pas grand inconvénient quand le mouvement des marchandises est notablement plus accentué dans une direction que dans l'autre ; on se contente alors d'installer le service des marchandises du côté de la voie qui dessert la direction la plus importante. Mais quand le mouvement est le même dans les deux directions, cette solution n'est plus admissible. Quelques ingénieurs préfèrent alors brancher une voie de marchandises sur chacune des voies principales, comme l'indique la figure 318, qui se rapporte au type n° 1. La voie 4 sert alors à

prendre ou à laisser les wagons en provenance ou en destination des trains pairs. On la relie aux voies de marchandises 3 et 5 par une voie transversale et trois plaques, dont deux remplacent le chariot à fosse.

Dès lors, la manœuvre des wagons se fait à la machine pour les trains pairs absolument comme pour les trains impairs. La manœuvre à bras se fait par la voie transversale et elle peut s'effectuer avant et après le passage du train, ce qui diminue beaucoup la durée du stationnement dans la gare.

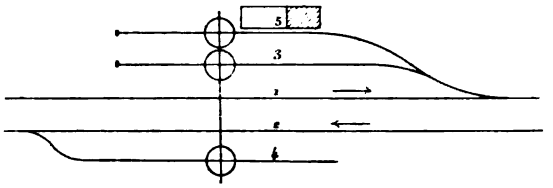


Fig. 318. — Petite station. — Variante dans la disposition des voies de marchandises.

Le seul inconvénient de ce système, c'est qu'il augmente notablement la dépense d'établissement de la gare. Aussi est-il moins employé que les précédents.

Variantes. — Il y a quelques variantes aux dispositions d'ensemble qui précèdent. Nous en citerons deux pour faire voir les inconvénients qu'elles présentent.

On a quelquefois, sur les lignes à voie unique, placé le trottoir opposé au bâtiment entre les deux voies de la station, comme le montre la figure 319. On avait en vue de permettre aux voyageurs de n'avoir qu'une

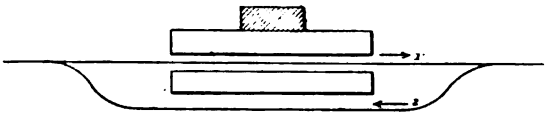


Fig. 319. — Petite station. — Variante dans la disposition des voies de voyageurs. (Voie unique).

voie à traverser au lieu de deux et de sortir toujours sans attendre la coupure ou le départ du train dont ils descendent.

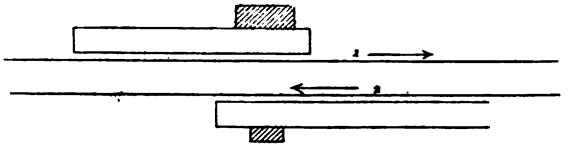


Fig. 320. — Petite station. — Variante dans la disposition des trottoirs.

Ce système doit être rejeté, d'abord parce qu'il rend difficile l'installation de l'abri dont la présence est gênante pour la circulation, et surtout parce qu'il impose à l'une des deux voies des courbes assez raides, qui ne sont pas commandées par le tracé.

La figure 320 représente une autre variante de la disposition des trottoirs ; ceux-ci sont croisés afin d'éviter le transport longitudinal des bagages. C'est un bien petit avantage, et d'un autre côté on allonge ainsi beaucoup la station, ce qui la rend plus coûteuse et plus difficile à installer. Cette solution doit donc être également écartée.

Longueur des voies de garage. — Dans un article publié en 1886 par la *Revue générale des Chemins de fer*, M. Brière, ingénieur en chef de la voie à la compagnie d'Orléans, a fait la description des types de plans généraux des stations du réseau complémentaire, étudiés par sa compagnie, et il a donné des chiffres qui sont intéressants à connaître sur la longueur à réserver aux voies de garage. Nous empruntons à cet article les renseignements qui suivent.

Une voie de garage doit être assez longue pour recevoir les trains les plus longs qu'il soit possible de faire circuler sur la section de ligne que l'on considère, eu égard aux rampes qu'elle présente. La longueur maxima des trains a été calculée par le service du contrôle de l'exploitation de la compagnie d'Orléans, de manière à déterminer les longueurs à prévoir pour les voies de garage. On a admis dans le calcul, comme poids moyen d'un véhicule chargé, 10 tonnes pour le matériel à voyageurs, 12 tonnes pour le matériel à marchandises ; la longueur moyenne des véhicules des trains de voyageurs a été prise égale à 9,30 m., celle des véhicules à marchandises de 7,60 m. On a ainsi obtenu les résultats suivants :

TAUX des rampes.	TRAINS DE VOYAGEURS ET VOYAGEURS MIXTES			TRAINS DE MARCHANDISES ET MARCHANDISES MIXTES			
	Limite de la charge.	Longueur totale du train.	Longueur de voie à prévoir.	Limite de la charge.	Longueur totale d'un train		Longueur de voie à prévoir.
					chargé.	vide.	
mm.	t.	m.	m.	t.	m.	m.	m.
8	360	239	260	550	365	471	500
10	285	239	260	460	304	475	500
12,5	245	239	260	345	236	456	480
16	210	210	230	295	205	395	420
20	185	207	230	245	182	334	360
25	160	179	200	200	159	288	310
30	150	169	190	175	144	258	280

En outre, comme il peut se présenter des cas où les conditions topographiques soient très difficiles et où la réalisation des longueurs indiquées ci-dessus ne pourrait s'obtenir qu'au moyen de sacrifices hors de proportion avec le but à atteindre sur des lignes dont le trafic est souvent très faible, la compagnie a reconnu nécessaire d'apporter certains tempéraments aux

résultats du tableau qui précède et elle a calculé comme il suit le minimum de longueur au-dessous duquel on ne doit jamais descendre.

RAMPES	CHARGES	NOMBRE DE WAGONS CORRESPONDANT			LONGUEUR DES TRAINS 7,50 m. PAR WAGON			LONGUEUR à compter. croisement dégagé.	DISTANCE entre les aiguilles extrêmes.
		vides 4 tonnes.	pleins 14 tonnes.	demi-pleins 8 tonnes.	de wagons vides.	de wagons pleins.	de wagons demi-pleins		
mm.	t.	w.	w.	w.	m.	m.	m.	m.	m.
10	460	60	33	60	465	262	465	500	600
12,5	345	60	24	43	465	195	338	350	450
15	305	60	21	38	465	173	300	325	425
20	215	53	15	27	412	127	217	250	350
25	180	45	13	22	352	113	180	200	300

Ce tableau diffère du précédent sur divers points :

On a pris 7,50 m. pour chiffre de la longueur moyenne des wagons, ce qui revient à admettre que les trains mixtes contiennent une forte proportion de wagons à marchandises ;

Le poids moyen des wagons a été pris égal à 14 tonnes au lieu de 12 ;

On a laissé de côté l'hypothèse des trains composés exclusivement de wagons vides et on a admis celle de wagons demi-pleins.

En résumé, les longueurs à prévoir en général sont celles du premier tableau. Exceptionnellement, en cas de difficulté, on peut prendre celles du second, sans jamais descendre au-dessous.

Emplacement des stations. — Après avoir considéré les stations en elles-mêmes, il nous reste à indiquer de quelle manière elles doivent être placées par rapport aux localités qu'elles desservent.

En général, pour les petites stations, le chemin qui leur sert d'accès traverse à niveau le chemin de fer ; il résulte de cette traversée 4 angles A, B, C, D (fig. 321), entre lesquels on peut choisir pour placer la gare.

Supposons la route orientée du nord au sud. Si le pays à desservir est placé au nord de la ligne, le meilleur emplacement pour la station est l'angle A. En effet, elle sera ainsi le plus près possible du pays, on y accédera sans avoir à traverser la voie, et le service des marchandises pourra être établi vers la droite de la figure avec une aiguille posée en talon sur la voie principale numéro 1. Si on plaçait la station dans l'angle A, et qu'on mît le service des marchandises vers la gauche de la figure, afin d'avoir le bâtiment des voyageurs près de la route, la machine serait obligée, pour faire ses manœuvres, d'arrêter son train avant d'arriver au bâtiment et ne pourrait pas profiter dans les trains mixtes du stationnement du train dans la station, ce qui est inadmissible. Si, au contraire, on mettait les marchan-

dises à droite et les voyageurs à gauche, l'aiguille des marchandises aurait sa pointe très près du passage à niveau, et toutes les manœuvres de wagons par cette aiguille intercepteraient ce passage.

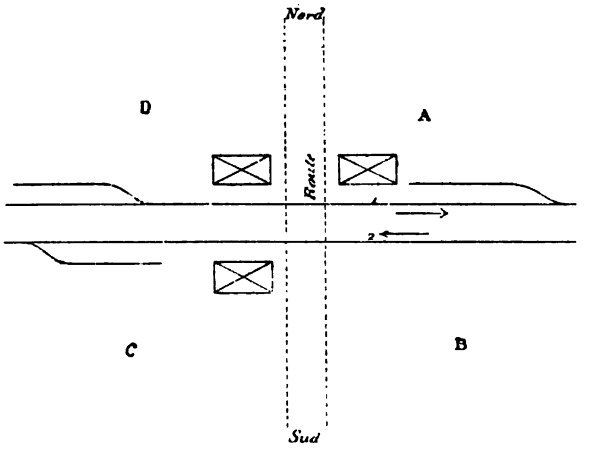


Fig. 321. — Petite station. — Choix de l'emplacement.

Le même raisonnement montrerait que, si la localité était au sud de la ligne, le meilleur emplacement serait l'angle C.

Nous sommes donc amenés à formuler la règle pratique suivante :

La station doit toujours être placée du côté du pays à desservir et à droite ou à gauche de la route qui traverse la ligne à niveau, suivant que la voie principale la plus rapprochée de la localité se dirige elle-même vers la droite ou vers la gauche

Toutefois, cette règle suppose que le mouvement des marchandises ait à peu près la même importance dans les deux sens ; si ce mouvement se faisait principalement dans une direction, la règle ne se concilierait pas toujours avec la recommandation que nous avons faite, de placer les voies de marchandises à côté de la voie principale qui dessert cette direction.

Si, par exemple, une station placée en A pour desservir une localité située au nord de la ligne a son mouvement de marchandises le plus important dans le sens de la voie 1, le service des marchandises se trouve établi le long de la voie qui lui convient ; la disposition est bonne. Mais si le mouvement des marchandises se fait surtout dans le sens de la voie 2, il n'en est plus de même ; il faudrait, pour que les voies de marchandises fussent placées le long de la voie 2, établir la station dans l'angle C qui ne convient qu'aux localités situées au sud de la ligne. Dans ce cas, la meilleure solution consiste à séparer le service des voyageurs de celui des marchandises, en mettant le premier dans l'angle D et le second dans l'angle C. On est obligé alors de faire deux chemins d'accès de la route à la station, l'un pour les voyageurs, l'autre pour les marchandises, ce qui augmente un peu la dépense.

Stations a service restreint. — Les dispositions précédemment indiquées pour les petites stations ne sont pas les plus réduites qu'on puisse envisager (en dehors des simples haltes). Depuis quelques années, en effet, on a, dans un but d'économie, simplifié le service dans un certain nombre de stations peu importantes, notamment sur les lignes à faible trafic et on est arrivé à une conception de ce service qui diffère notablement de celle qu'on avait autrefois, même pour les stations les plus minimes. Il avait paru nécessaire jusqu'alors de disposer les stations de manière à pouvoir assurer partout le croisement de deux trains de sens contraire ou le dépassement d'un train par un autre train de même sens. Chaque station avait ainsi à intervenir dans l'exécution des prescriptions réglementaires relatives à la circulation des trains ; la responsabilité incombant aux chefs de gare était, par suite, assez importante pour qu'on dût recruter exclusivement ces agents parmi des hommes choisis et expérimentés.

Or, on a pensé que, sans compromettre la sécurité, on pouvait simplifier le service de certaines stations peu importantes, de manière à le confier à un seul agent et même à une femme.

On a ainsi institué le service dit *restreint*.

La caractéristique de ce service, c'est que l'agent qui gère la gare n'intervient pas dans les mesures qui intéressent la sécurité ; il ne donne aucun ordre relatif au mouvement et à la circulation des trains. La direction et la responsabilité des manœuvres et de toutes les mesures qui concernent la sécurité est déléguée au chef de train ; le chef de station ne peut se mouvoir que derrière des taquets qui l'isolent des voies principales et dont il remet la clef au chef de train, au moment de son passage.

En principe, les stations à service restreint ne font pas le service télégraphique ; lorsqu'elles sont exceptionnellement pourvues des appareils, le service est réduit à la transmission des demandes de secours et à l'annonce des retards, l'appareil donnant, bien entendu, la communication directe.

Toute station où il y a un croisement de trains ne peut pas être à service restreint.

Toute station où il n'y a pas de croisement, et dont les voies de marchandises peuvent être isolées des voies principales, peut être à service restreint.

On remarquera que l'importance du trafic n'intervient pas dans les conditions indiquées ; mais, comme le but que l'on poursuit est de réaliser des économies, il n'y a évidemment d'intérêt à mettre une station en service restreint que si l'on peut y réduire le personnel à un seul agent, ou même à une femme, ce qui n'est possible que pour les stations à très faible trafic.

La question du service restreint s'est posée notamment sur différents

réseaux au moment de la construction des lignes concédées par les conventions de 1883. Nous en citerons un exemple emprunté au réseau d'Orléans.

Les anciens types de stations de ce réseau se prêtaient mal à l'installation de ce service et surtout à la gestion d'une station par une femme ; les bâtiments étaient trop dispersés et d'une surveillance difficile.

M. Aumont, ingénieur des ponts et chaussées, chargé de la construction de la ligne de Châtellerault à Tournon-Saint-Martin, concédée à la compagnie d'Orléans, a proposé pour cette ligne un type qui a été approuvé par une décision ministérielle du 23 avril 1889 et adopté pour toutes les lignes restant à construire sur le réseau d'Orléans [1].

Pour permettre la gestion de la station par un seul agent ou par une femme, il était nécessaire : 1° de concentrer les services de manière à en rendre la surveillance plus facile ; 2° de donner à la femme-chef de station les moyens d'assurer le service, tout en vaquant aux soins de son ménage.

Le type de bâtiment avec halle accolée, séparé des voies principales par

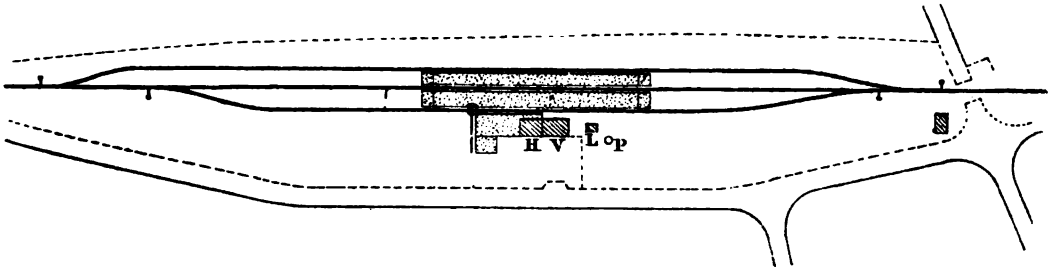


Fig. 322. — Type de station à service restreint. (Compagnie d'Orléans).

les voies de marchandises comme on en trouve de nombreux exemples sur les lignes d'intérêt local, était dès lors tout indiqué.

La figure 322 représente les dispositions générales de la station.

Elle comporte :

Une voie principale ;

Une voie d'évitement, dont la longueur varie d'après le profil de la ligne ;

Une voie de marchandises, aiguillée à ses deux extrémités sur la voie principale, et pouvant sur une partie de son étendue être utilisée pour le service du débord destiné aux wagons complets ; cette voie est, bien entendu, assez longue pour permettre le débranchement des trains mixtes, les wagons de voyageurs étant devant le trottoir ;

Une voie perpendiculaire, reliée par une plaque tournante à la voie des marchandises et pouvant éviter deux wagons et servir au chargement sur quai au débord ;

[1] Les renseignements qui suivent nous ont été fournis par M. Aumont.

Deux trottoirs de 100 *mètres*, à une seule bordure. Cette disposition permet l'exploitation, soit en service ordinaire, soit en service restreint ; elle est applicable aux lignes à double voie.

Quand la station est mise en service restreint, les aiguilles placées sur la voie principale sont normalement rivées et cadenassées, de manière à laisser libre la circulation sur cette voie. Les taquets placés sur la voie de service, pour intercepter sa communication avec la voie principale, sont normalement fermés et cadenassés. Les clefs des aiguilles et des taquets sont sous la garde du chef de station.

Quand un train doit prendre ou laisser des wagons, ces clefs sont remises au chef de train par le chef de station ; celui-ci doit s'assurer personnellement, après l'achèvement de la manœuvre, que les aiguilles et les taquets sont bien remis dans leur position normale.

Aucune manœuvre engageant la voie principale ne peut être faite dans l'intervalle du passage des trains.

Les bâtiments de la station, réduits au strict minimum, se composent :

D'un débarcadère V, avec halle aux marchandises accolée, H;

D'un quai découvert;

D'un petit bâtiment isolé, L, contenant la lampisterie et les cabinets;

D'un puits, P.

§ 3. — STATIONS DE MOYENNE IMPORTANCE

Nous rangerons dans la catégorie des stations moyennes celles qui desservent des villes d'une population de 5 000 à 12 000 habitants, telles qu'un chef-lieu d'arrondissement d'une importance ordinaire ou un gros chef-lieu de canton. Les aménagements de ces stations varient nécessairement suivant l'intensité du trafic, mais leurs dispositions essentielles peuvent être ramenées à un même type, à la condition de graduer l'étendue des divers éléments de ce type, les bâtiments, les quais, les voies, suivant l'importance du mouvement qu'il doit desservir.

Nous distinguerons deux cas, suivant que la station est placée sur une ligne à voie unique ou sur une ligne à double voie.

Lignes a voie unique. — Il y a, dans les stations de moyenne importance, trois natures de services à assurer : celui des voyageurs, celui des marchandises et celui des machines.

Pour les voyageurs, les installations sont les mêmes que dans les petites stations; elles comprennent un bâtiment avec cour, deux trottoirs, un abri et des cabinets d'aisance. Seulement, les dimensions du bâtiment, de la cour et de l'abri sont plus considérables.

On y joignait autrefois une remise de voitures, afin de permettre d'ajouter des voitures aux trains, les jours où il y a affluence de voyageurs au départ. Cette remise R (fig. 323) était placée à côté des trottoirs et du côté de la direction la plus fréquentée par les voyageurs, afin que les manœuvres nécessaires pour ajouter des voitures pussent se faire avec la plus grande rapidité possible. En fait, les remises à voitures s'emploient de moins en moins, et, en tout cas, seulement dans les grandes gares.

Le service des marchandises comporte le même programme que pour les petites stations, mais avec des installations plus complètes et, s'il y a lieu, un nombre de voies plus considérable ; il faut, en outre, pourvoir au garage des trains.

Par suite des vitesses très différentes avec lesquelles marchent les divers trains d'une même ligne, il est nécessaire de pouvoir, en certains points de cette ligne, garer les trains les plus lents pour laisser passer les trains plus rapides. Ces garages s'établissent, en général, dans les stations du genre de

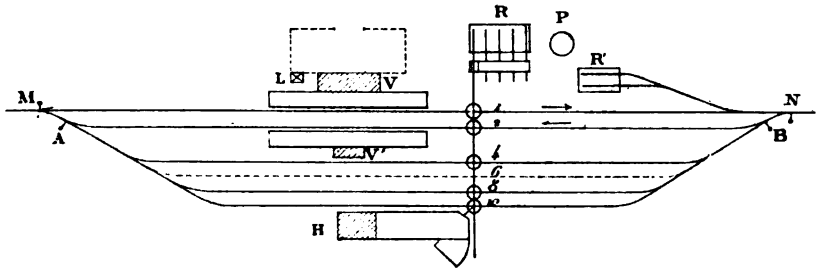


Fig. 323. — Station de moyenne importance pour ligne à voie unique. Type n° 3.

celles dont nous nous occupons; on doit donc les munir d'une voie spécialement affectée à ce service et dont la longueur se détermine, eu égard aux déclivités de la section, comme nous l'avons montré à propos de petites stations. Cette voie se place naturellement à côté des voies de marchandises, parce qu'elle fournit ainsi un secours qui peut être extrêmement utile pour le service de ces dernières. Quant aux voies et aux installations proprement dites des marchandises, il faut, encore plus que toutes les petites stations, les placer du côté de la direction où le mouvement est le plus important.

Dans le type n° 3 représenté par la figure 323, nous les supposons placées du côté opposé au service des voyageurs.

Elles comprennent :

1° Une halle H avec un quai découvert et, dans un angle, un pan coupé avec une cage à tampons pour permettre les chargements en bout;

2° Deux voies de marchandises, 8 et 18, branchées sur la voie 2 à chacune de leurs extrémités;

3° Une voie de garage 4 de longueur convenable;

4° Une batterie de plaques et une voie transversale faisant suite à celle qui communique avec la remise des voitures;

5° Une cour spéciale pour les marchandises.

Il faut avoir soin, en installant les voies de marchandises, de réserver la place nécessaire pour augmenter leur nombre, si l'importance du trafic de la station l'exige ultérieurement. Dans le type n° 3 nous avons représenté en pointillé une voie supplémentaire 6, qui pourra être posée dans l'avenir et augmenter d'une manière considérable la capacité de trafic de la station.

On voit, à la simple inspection du plan, de quelle manière se feront les manœuvres. Le faisceau des voies de marchandises étant en communication directe par ses deux extrémités avec la voie 2 et celle-ci communiquant elle-même avec la voie 1 par les aiguilles extrêmes de la gare, les manœuvres seront à peu près les mêmes pour les trains impairs que pour les trains pairs. Seulement, pour les premiers, la machine devra emmener les wagons de manœuvre au delà de l'aiguille N et refouler ensuite sur la voie 2 pour pénétrer par l'aiguille B sur les voies de marchandises. C'est d'ailleurs la même manœuvre que pour les petites stations.

Si nous avions supposé le service des marchandises établi du même côté que celui des voyageurs, la disposition des voies aurait changé notablement.

En effet, il n'aurait pas été possible de les raccorder aux deux bouts avec la voie 1, à cause de la présence du bâtiment des voyageurs, et, pour éviter d'allonger les manœuvres des trains pairs, il aurait été préférable d'adopter une disposition analogue à celle de la figure 318, c'est-à-dire d'établir des voies de marchandises en cul-de-sac le long de chaque voie de voyageurs, et de faire communiquer ces voies par la transversale des plaques.

D'ailleurs, dans le type n° 3, si l'importance du trafic ne paraissait pas justifier tout d'abord le raccordement des voies de marchandises aux deux bouts, on pourrait se contenter de l'aiguille A et terminer les voies 4, 8 et 10 en cul-de-sac, à quelque distance au delà des plaques, en se réservant de poser le raccordement par l'aiguille B lorsque la nécessité s'en ferait sentir.

Indépendamment des services de voyageurs et de marchandises, les gares de moyenne importance ont assez souvent à pourvoir à d'autres services qui sont les suivants :

1° L'alimentation des machines. — Les machines renouvellent leur provision d'eau tous les 20 kilomètres environ et, autant que possible, on place les appareils nécessaires à ce renouvellement dans les gares où les trains doivent stationner assez longtemps. Les gares moyennes sont donc généralement des gares de prise d'eau. Le réservoir P est placé à proximité du lieu de stationnement des trains;

2° Le remisage des machines. — Les grands dépôts de machines se placent toujours dans les gares principales. Mais les stations moyennes peuvent avoir une petite remise, pouvant contenir 2 à 4 machines, de manière à pourvoir soit aux trains qui ont leur origine à la station, soit aux besoins accidentels, tels que les trains de travaux, les machines de secours, etc. Cette remise est représentée en R'; elle est raccordée par une aiguille en talon avec la voie principale 1.

Lignes a double voie. — Le type n° 3 que nous venons de décrire s'adapte parfaitement au cas d'une ligne à double voie au moyen d'une légère modification.

Les deux voies 1 et 2 étant supposées continues et sans communication dans la gare, il suffit de remplacer l'aiguille B par une traversée oblique et de brancher le faisceau des voies de marchandises sur la voie 1 par une aiguille placée au point N. De cette manière, il n'y aura pas d'aiguille en pointe sur les voies principales et les manœuvres des trains de marchandises se feront comme dans le cas de la voie unique.

Si on suppose, au contraire, que le service des voyageurs et celui des

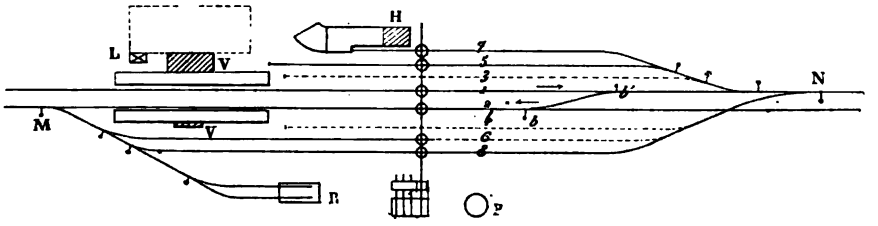


Fig. 324. — Station de moyenne importance pour ligne à double voie. Type n° 4.

marchandises soient placés du même côté, les installations pourront être disposées comme l'indique la figure 324, type n° 4. Les installations relatives aux marchandises comportent deux voies en cul-de-sac, 5 et 7, branchées sur la voie 1, une troisième voie en cul-de-sac, 6, branchée sur la voie 2 et une voie de garage, 8, raccordée à chaque bout avec les deux voies principales, en M à la voie 2 et en N à la voie 1, en franchissant la voie 2 par une traversée oblique. Ces installations peuvent être complétées en vue d'un trafic plus considérable, au moyen de la pose des voies 3 et 4 figurées en pointillé et en prolongeant la voie 6 de manière à la raccorder à la voie 8 par ses deux extrémités. Une diagonale *bb'* met en communication les deux voies principales.

La manœuvre pour prendre et déposer des wagons se fait facilement dans les deux sens au moyen de la machine, et les manœuvres à bras se font dans l'intervalle du passage des trains au moyen de la transversale avec plaques. Le garage des trains les plus longs peut toujours se faire sur la

voie 8. Les autres voies de marchandises peuvent également être utilisées comme voies de garage pour les trains qui n'ont pas le maximum de longueur admis sur la section.

Les dispositions qui précèdent ne sont, bien entendu, que des types susceptibles d'être modifiés d'après les circonstances locales et notamment à cause des difficultés plus ou moins grandes qu'on trouve à étendre la station dans le sens de la longueur ou dans celui de la largeur, par suite de la configuration du terrain. Mais les indications données par ces types suffisent pour montrer de quelle manière on peut satisfaire aux diverses conditions du problème. Une étude approfondie devra être faite de la question dans chaque cas particulier. On devra avoir en vue principalement d'installer le service des marchandises, de façon qu'il soit facilement extensible dans l'avenir et que tous les éléments qui le composent, halles et quais découverts, nombre et développement des voies, puissent se prêter à une augmentation considérable du trafic de la station. Il faut, en un mot, que la gare d'importance moyenne puisse, par des extensions faciles, passer peu à peu de son type primitif à celui des gares principales dont nous allons nous occuper maintenant.

§ 4. — GARES PRINCIPALES

Nous désignerons sous le nom de gares principales celles qui desservent les grandes villes, chefs-lieux de département ou sous-préfectures importantes, d'une population de 20 000 habitants et au-dessus.

Une grande gare comporte toujours les installations nécessaires aux trois services suivants :

Service des voyageurs ;

Service des marchandises ;

Service de la traction.

Ce dernier, qui n'existait pas dans les petites stations, et qui n'avait que bien peu d'importance dans les gares moyennes, prend dans les gares principales un très grand développement. Il faut, en effet, que les locomotives qui circulent sur une ligne trouvent, à des intervalles convenables, des stations pourvues des installations nécessaires pour les remiser et leur faire les réparations courantes que nécessite leur entretien. Ces intervalles sont généralement de 100 à 150 kilomètres et correspondent assez bien avec l'espacement des grandes villes ; c'est donc dans les stations principales qu'on établit les dépôts de locomotives et toutes leurs dépendances.

Pour déterminer de quelle manière on doit placer dans une gare les trois services dont nous venons de parler, il importe de se rendre compte tout d'abord de l'espace qui est nécessaire à chacun d'eux.

Nous avons vu que la longueur des quais à voyageurs était d'environ 100 mètres dans les stations que nous avons étudiées jusqu'ici; cette dimension est convenable et on l'adopte également pour les grandes gares. Il faut y ajouter l'espace nécessaire pour le remisage des voitures, en réservant la possibilité d'une extension ultérieure, soit une centaine de mètres également. Nous compterons donc 200 mètres pour le service des voyageurs.

Celui des marchandises doit occuper une étendue au moins égale à celle des plus grandes voies de garage à prévoir sur la ligne; nous avons vu que cette longueur varie d'après les déclivités et que, sur les lignes à rampes de 10 millimètres, elle est au minimum de 600 mètres entre les aiguilles extrêmes. Il faut donc compter sur 600 à 800 mètres pour le service des marchandises.

Quant au dépôt des locomotives, il occupe une place assez restreinte, mais les voies qui le desservent et qui doivent se raccorder avec les voies principales ont une longueur de 300 mètres environ.

Ainsi la longueur nécessaire pour les marchandises est en général supérieure à la somme des deux longueurs affectées aux voyageurs et au dépôt.

Il résulte de là qu'au point de vue de la surface à acquérir pour l'établissement de la gare, la meilleure solution, celle qui sera la plus économique, consistera à placer d'un côté des voies principales les voyageurs et le dépôt et de l'autre côté les marchandises.

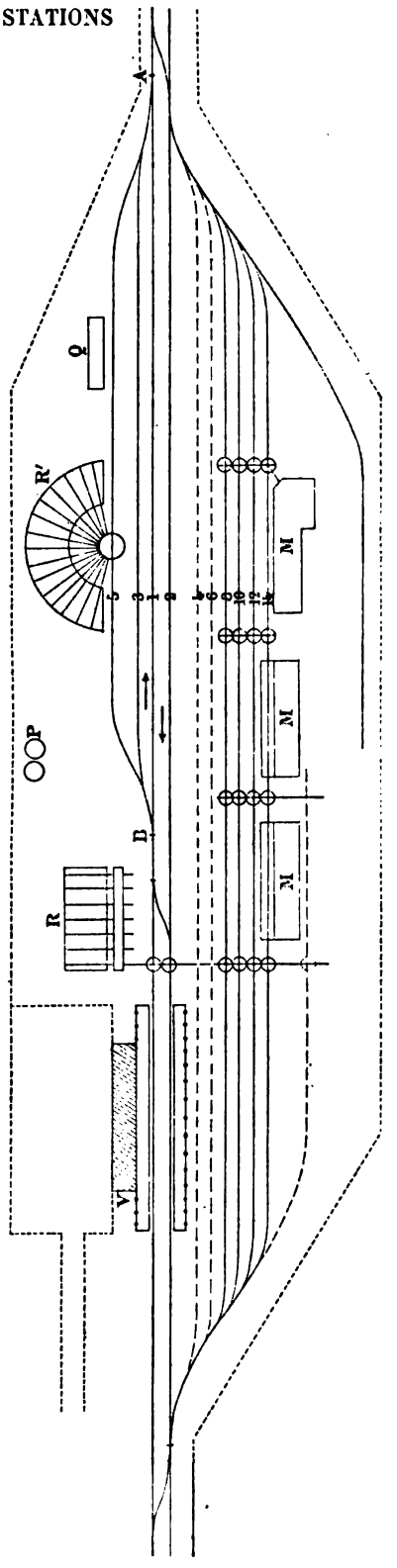


Fig. 325. — Gare principale.

V. Bâtiment des voyageurs. — R. Remise de voitures. — P. Réservoir double. — R' Remise de machines. — Q. Quai à combustible. — M, M, M. Quais à marchandises.

La figure 325 représente le plan d'une gare établie d'après ce principe. Il est emprunté textuellement au *Cours de Chemins de fer* de M. Sévène. Le service des voyageurs comporte les installations suivantes :

Un bâtiment de voyageurs avec une halle couverte et deux quais de 100 mètres de longueur ;

Une remise de voitures communiquant par une voie transversale et des plaques avec les deux voies principales [1].

Le service de marchandises dispose d'un faisceau de quatre voies, 8, 10, 12 et 14, réunies à leurs deux extrémités par une aiguille avec la voie 2, communiquant entre elles par quatre batteries de plaques, et de trois quais dont deux sont couverts, et dont le troisième comporte une cage à tampons pour charger les wagons par bout.

On voit qu'ici l'une des deux aiguilles est en pointe sur la voie principale n° 2; c'est une sujétion, puisqu'il faut que cette aiguille soit maintenue au passage de tous les trains. Mais cette sujétion est très acceptable dans une grande gare, où la plupart des trains s'arrêtent et où il y a un intérêt considérable à pouvoir dégager les voies de marchandises par les deux bouts.

Au moyen des deux diagonales placées à l'entrée et à la sortie de la gare, tous les trains de marchandises peuvent la traverser sans se servir des voies principales; ils peuvent se garer sur la voie 8 et les manœuvres de wagons se font avec la plus grande facilité au moyen des aiguilles et des plaques qui réunissent les voies. En outre, le service des marchandises est facilement extensible au moyen de la pose des voies 4 et 6, représentées en pointillé et par suite de la possibilité d'augmenter la surface des quais M.

Enfin, le service de la traction est assuré au moyen d'une remise de locomotives, R', communiquant par deux voies 3 et 5 avec la voie principale 1 et au moyen d'une diagonale avec la voie 2; un quai à combustible Q est installé à proximité de la voie 5, et un réservoir double P assure l'alimentation des machines.

Quand un train doit changer de machine dans la gare, la manœuvre s'effectue de la manière suivante :

Si c'est un train impair, la machine se détache et suit la voie 1 jusqu'à l'aiguille A qu'elle dépasse ; puis elle entre en rebroussement sur la voie du dépôt, pendant que la machine de relais en sort par l'aiguille B et vient se mettre en tête du train.

S'il s'agit d'un train pair, la manœuvre est un peu plus longue, mais ne présente pas plus de difficulté. La machine du train passe de la voie 2 sur la voie 1 au moyen de la diagonale située à l'entrée de la gare, puis elle

1. Cette remise est aujourd'hui très souvent supprimée. On se contente de garer les voitures sur des voies non couvertes, qui constituent alors ce qu'on appelle un parc à voitures.

refoule sur la voie 1 et rentre au dépôt comme la précédente par l'aiguille A, pendant que la machine de relais sort par l'aiguille B et vient se placer en tête du train en empruntant la diagonale.

La disposition de gare représentée par la figure 325 répond bien à tous les besoins auxquels elle doit satisfaire; l'ensemble est très concentré et la surveillance est facile, et cependant les trois services ont leurs installations parfaitement distinctes. Aussi cette distribution est-elle recommandée comme la plus commode et celle qui doit être employée toutes les fois qu'il n'y a pas d'impossibilité absolue à le faire. Le service des voyageurs doit, en général, être placé du côté de la ville et, par suite, celui des marchandises est placé du côté opposé.

Quelques ingénieurs reprochent à cette disposition l'allongement de parcours qu'elle impose aux marchandises.

On peut éviter cet inconvénient en plaçant le service des marchandises à la suite de celui des voyageurs et du même côté des voies. Mais on tombe alors dans d'autres inconvénients bien plus graves :

1° On allonge beaucoup la gare, ce qui élève son prix de revient et on éloigne l'une de l'autre les traversées de route aux deux extrémités;

2° On est obligé de recevoir les trains de marchandises sur les voies principales, ce qui est un inconvénient très sérieux quand on a des trains de voyageurs à former dans la gare. Pour éviter cet inconvénient, on peut placer les voies de réception et de garage des trains de marchandises de l'autre côté des voies principales; mais alors les premières sont séparées des voies de marchandises et toutes les manœuvres de wagons doivent se faire en traversant les voies principales, ce qui est fort gênant et peut être dans bien des cas une cause de danger;

3° Le service des marchandises, resserré d'une part entre le bâtiment des voyageurs à gauche et la route qui traverse le chemin de fer à droite, ne peut que très difficilement recevoir de l'extension, lorsque l'augmentation du trafic le demande.

Les inconvénients signalés ci-dessus sont extrêmement graves et ne sauraient entrer en balance avec le léger avantage qu'il y a à rapprocher de la ville la gare des marchandises.

En fait, c'est surtout à l'origine des chemins de fer qu'on a placé à côté l'une de l'autre la gare des marchandises et celle des voyageurs. Depuis, l'expérience a démontré les inconvénients de cette disposition, qui n'est plus employée aujourd'hui pour les grandes gares que lorsqu'il est impossible de faire autrement.

Le principe admis aujourd'hui, c'est que, pour les petites stations, il est bon d'avoir les marchandises et les voyageurs du même côté, mais que pour les gares principales, il vaut mieux placer les marchandises du côté opposé.

Gares de bifurcation. — Les gares principales sont presque toujours en même temps des gares de bifurcation, c'est-à-dire qu'au lieu de ne desservir qu'une seule ligne traversant la gare, elles ont à recevoir et à expédier des voyageurs et des marchandises sur plusieurs branches rayonnant dans des directions différentes.

Les dispositions essentielles des gares de bifurcation ne sont pas autres que celles des gares ordinaires; mais elles doivent contenir en outre les installations nécessaires pour répondre à un service qui leur est particulier, celui du transit. Ce service consiste à assurer l'échange des voyageurs et des marchandises qui doivent passer d'une branche à l'autre. Voici comment on y pourvoit.

Supposons qu'il s'agisse d'une ligne principale et d'un seul embranchement; pour assurer le transit-voyageurs, il faut que les trains de l'embranchement arrivent un peu avant et partent un peu après le passage des trains de la ligne principale, pour éviter aux voyageurs de trop longs stationnements dans la gare. On doit donc avoir le moyen de recevoir en même temps sur les voies de voyageurs deux trains de la ligne principale et un train de l'embranchement. Par conséquent, il faut trois voies de voyageurs. On peut les installer, comme l'indique la figure 326, en se contentant de placer la voie spéciale à l'embranchement de l'autre côté du trottoir de la voie 2 et en le couvrant par un auvent ajouté à la marquise.

S'il y a deux embranchements à desservir, il faut quatre voies de voyageurs; on installe alors un troisième trottoir le long de la quatrième voie (fig. 327). Pour trois embranchements il faudrait cinq voies et ainsi de suite.

Le nombre des voies de voyageurs est toujours égal au nombre des branches à desservir.

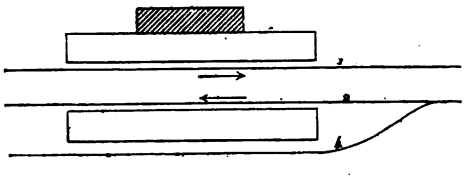


Fig. 326. — Gare de bifurcation. — Transit-voyageurs pour trois branches.

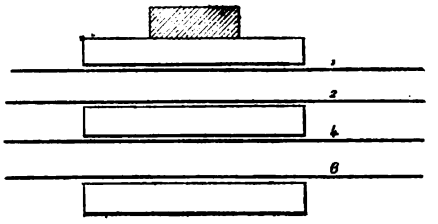


Fig. 327. — Gare de bifurcation. — Transit-voyageurs pour quatre branches.

Le transit-marchandises nécessite des installations spéciales quelquefois très importantes. En effet, les wagons qui arrivent dans la gare sont chargés de marchandises qui sont à destination les unes de la ville, les autres des diverses directions desservies par la gare. Il faut donc effectuer un triage de ces marchandises, de manière à les envoyer dans la direction qu'elles

doivent suivre. Cela exige un transbordement, une décomposition et une recomposition des trains, qui se font au moyen d'un quai de transbordement, représenté par la figure 328. C'est un quai ordinaire couvert, parce

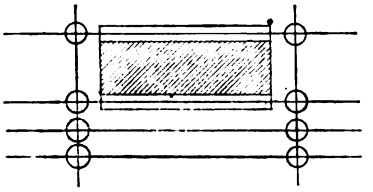


Fig. 328. — Gare de bifurcation. — Transit-marchandises. — Quai de transbordement.

qu'il doit recevoir des marchandises de toute espèce, et bordé de voies des deux côtés. Les voies sont réunies par des plaques et communiquent également entre elles par des aiguilles aux extrémités.

Gares terminales. — Quand une ligne de chemin de fer pénètre dans une ville qui est son point extrême et qu'elle ne doit pas se prolonger au delà, la gare prend le nom de *gare terminale* ou *terminus*.

Les gares terminales diffèrent essentiellement des gares ordinaires en ce qu'elles sont accessibles des deux côtés de la ligne sans la traverser; on en profite pour placer d'un côté le service du départ, de l'autre celui de l'arrivée, ce qui est commode pour les voyageurs en même temps que pour l'exploitation.

La figure 329 représente le schéma d'ensemble d'une gare terminale. Le bâtiment des voyageurs ABC a la forme d'un fer à cheval, dont les deux ailes A et C sont affectées, la première au service de l'arrivée, la seconde au service du départ. Le bâtiment du fond, B, comprend des installations communes aux deux services. telles qu'un buffet, ou bien des bureaux.

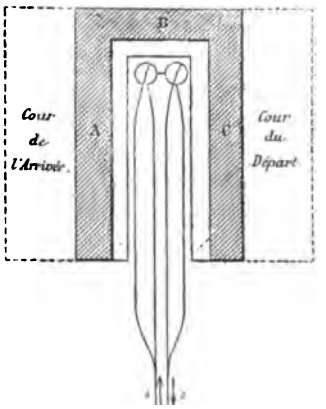


Fig. 329. — Gare terminale. Service des voyageurs.

De chaque côté des bâtiments A et C se trouve une cour. Une halle couverte renferme les voies, qui doivent être, dans ces gares, au nombre de quatre au moins au lieu de deux, afin d'avoir, d'une part, une voie de service qui permet de dégager rapidement la voie d'arrivée au fur et à mesure que les trains entrent en gare, et, d'autre part, pour pouvoir tenir à proximité de la voie de départ les wagons qui peuvent être nécessaires pour compléter les trains.

Les plaques tournantes figurées à l'extrémité des voies du côté du bâtiment B sont destinées à permettre le dégagement rapide des machines des trains de banlieue, lorsqu'il y en a sur la ligne.

Pour les trains de grandes lignes, lorsque leur marche comporte un contrôle des billets avant l'entrée en gare, le train est arrêté sur la voie 1 en face d'un banc de contrôle; pendant ce temps, la machine se détache et, par une voie latérale, vient se placer en queue du train, qu'elle refoule ensuite jusqu'au fond de la gare. Dans le cas contraire, la machine se dégage comme celle des trains de banlieue.

La disposition représentée par la figure 329 est fort commode, aussi bien pour la surveillance et l'exploitation que pour le mouvement des voyageurs et des voitures; aussi est-elle très employée. C'est ainsi qu'ont été construites toutes les gares de Paris, celles de Strasbourg, de Metz, de Munich, etc.

Elle présente cependant un inconvénient, c'est de ne pas se prêter facilement aux agrandissements ultérieurs.

Quand le trafic s'augmente dans des proportions notables, on est le plus souvent conduit à démolir la gare et à la reconstruire à nouveau; c'est ce qui s'est passé pour les gares du Nord, de l'Est, de l'Ouest, d'Orléans et de Saint-Lazare, à Paris, ainsi que pour celle de Stuttgard et un certain nombre d'autres. Aussi est-il prudent, quand on établit une gare d'après ce système, de la faire très grande, de manière que ses installations puissent suffire pendant très longtemps à tous les besoins du trafic.

On a quelquefois employé, pour les gares terminales, une disposition inverse de la précédente, c'est-à-dire qu'on a placé le bâtiment entre les voies du départ et celles de l'arrivée. C'est ce qu'on a fait à la nouvelle gare de Stuttgard (fig. 330), où on a placé les salles d'attente des voyageurs dans la partie A du bâtiment. Cette disposition permet le développement ultérieur des installations; mais elle a l'inconvénient de rendre les communications entre les deux groupes de voies longues et coûteuses. Elle est, en somme, peu employée.

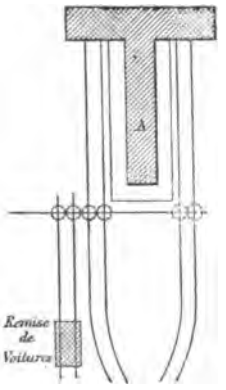


Fig. 330. — Gare terminale. — Nouvelle gare de Stuttgard. — Service des voyageurs.

Parmi les gares terminales, il convient de citer les gares dites *de rebroussement*.

Il n'y a rien de particulier à signaler en ce qui les concerne, si ce n'est que le service y est fort défectueux et qu'on doit éviter avec le plus grand soin d'établir des gares de cette nature. En effet, les voyageurs qui arrivent dans une gare terminale pour en repartir par un autre train sont obligés, pour passer du trottoir de l'arrivée à celui du départ de faire tout le tour de la gare, ce qui est extrêmement désagréable; le service des bagages est également très difficile.

A l'origine des chemins de fer, ces gares ont été assez souvent employées parce qu'on voulait pénétrer jusque dans l'intérieur des villes, même quand la ligne ne pouvait pas les traverser ; on était alors obligé de revenir sur ses pas pour en sortir.

Il existe deux exemples bien connus de ce système sur le réseau d'Orléans, à Orléans et à Tours. Là, les inconvénients s'en sont fait sentir d'autant plus que la ligne de Paris à Bordeaux est desservie par des trains rapides, qu'il aurait été très incommode de faire pénétrer jusque dans les gares de rebroussement pour les en faire sortir ensuite. On a remédié à ces inconvénients en établissant des gares accessoires extérieures, qui permettent aux trains express de continuer leur trajet sans entrer en gare d'Orléans, ni de Tours. Mais alors les voyageurs en destination de ces deux villes sont obligés de descendre à ces gares accessoires et d'y prendre un train de correspondance, qui les conduit dans la gare principale ; et ce changement de train ne laisse pas d'être fort désagréable pour eux.

Les figures 331 et 332 représentent la disposition des lignes aux abords d'Orléans et de Tours. A Orléans, où la ligne qui vient de Paris rebrousse à gauche pour aller vers Tours et à droite pour aller vers le centre, on a établi aux Aubrais une gare de service sur la branche de Paris et on a

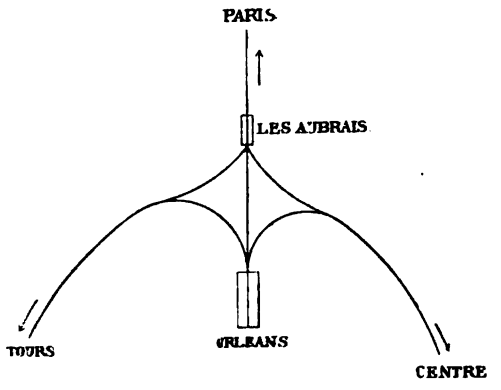


Fig. 331.

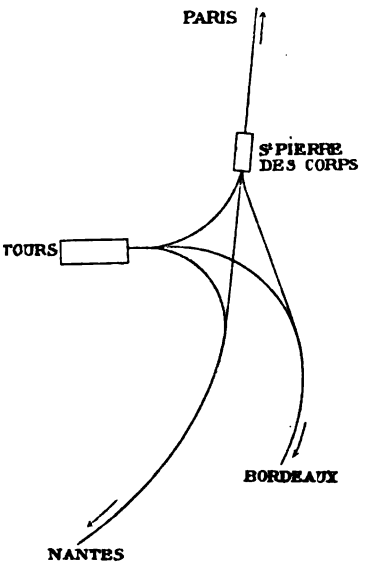


Fig. 332.

ensuite relié cette gare par des raccordements directs avec les lignes de Tours et du Centre.

A Tours, on a fait de même ; la gare de service est installée à Saint-Pierre-des-Corps et deux raccordements directs permettent aux trains de grand parcours de continuer leur route vers Nantes ou vers Bordeaux.

En somme, les gares de rebroussement sont absolument condamnées par l'expérience et on n'en établit plus de nouvelles.

Gares de Paris. — Parmi les gares principales des chemins de fer français, les gares de Paris, qui sont toutes des gares terminus sont au nombre des plus importantes et des plus intéressantes à étudier. Notre intention n'est pas d'en donner ici la description complète, mais seulement de faire connaître sommairement comment elles ont été conçues.

En premier lieu, aucune d'elles ne comporte de service de marchandises. Il n'était pas possible, lorsqu'on a créé les grandes gares de Paris, de réunir, dans le même espace, le service des voyageurs et celui des marchandises ; il aurait fallu pour cela une surface très considérable, qu'on n'aurait pu acquérir dans l'intérieur de Paris qu'au prix de trop grands sacrifices. On a préféré séparer complètement la gare des marchandises de celle des voyageurs, reporter la première hors de la ville et placer la seconde dans un quartier plus central.

Depuis cette époque, Paris s'est agrandi et a englobé dans son enceinte les gares de marchandises qui n'y étaient pas comprises autrefois ; mais elles sont toujours restées complètement séparées des gares de voyageurs. Dans ce qui va suivre, nous traiterons spécialement la question du service des voyageurs.

Voici comment s'exprime M. Sévène dans son *Cours de Chemins de fer* au sujet des dispositions à adopter pour les gares de voyageurs à Paris :

« Dans les gares de voyageurs à Paris, il y a à considérer deux cas distincts, qui déterminent des dispositions d'ensemble très différentes.

« Certaines gares comme celles de Lyon et d'Orléans, n'ont qu'un service de banlieue très restreint, qui peut être desservi par les trains de parcours du réseau, sauf addition de quelques trains de localité.

« Dans d'autres gares au contraire, comme à la gare Saint-Lazare ou à celle du Nord, le service de banlieue a une importance extrême, et les dispositions de la gare doivent être réglées en conséquence.

« Dans le premier cas, c'est-à-dire lorsqu'on n'a pas à se préoccuper d'une manière spéciale du service de banlieue, il n'y a rien à changer au type ordinaire de gare terminus dont nous avons fait connaître les dispositions. Un bâtiment de départ le long de la voie de départ ; un bâtiment d'arrivée le long de la voie d'arrivée ; au centre, des voies de remisage ; au bout de la halle, un trottoir terminus, et en arrière de ce trottoir, soit un buffet, soit un bâtiment d'administration, comme à la gare d'Orléans, soit un simple pignon de façade comme à la gare de Lyon. C'est absolument la même disposition qu'une gare terminus ordinaire. L'augmentation d'importance ne se traduit ici que par une augmentation de dimensions.

« Si au service de grandes lignes se joint un service actif de banlieue, la question devient plus complexe. Ces services de banlieue exigent un grand nombre de trains dans la journée sur chaque direction. Les trains se succé-

dant donc à la gare à des intervalles extrêmement rapprochés, il est impossible de faire le service avec deux trottoirs seulement, l'un pour le départ, l'autre pour l'arrivée; ce n'est pas dans l'intervalle de deux trains, quand ils se succèdent de cinq en cinq minutes, que l'on aurait le temps d'en former un sur la voie de départ ou de dégager la voie d'arrivée.

« Il faut donc nécessairement des trottoirs intermédiaires et il en faut un nombre d'autant plus grand qu'on a plus de directions à desservir.

« Mais ce n'est plus ici comme dans les gares de bifurcation, où la communication entre le bâtiment et les trottoirs extrêmes se fait en traversant les voies. L'affluence des voyageurs, l'arrivée presque incessante des trains sur certaines voies, la formation des convois sur d'autres rendent cette traversée inadmissible. La communication avec les trottoirs intermédiaires ne peut se faire que par bout.

« Dès lors, la disposition la plus logique pour le bâtiment, au point de vue de la banlieue, c'est d'être placé en bout, de manière à donner un dégagement direct sur chaque trottoir.

« C'est là la disposition type d'un service de banlieue; elle est simple, commode et bien ordonnée pour les voyageurs. Elle est incommode pour les bagages, qu'il faut brouetter sur toute la longueur du trottoir pour arriver au fourgon. Mais le service des bagages est à peu près nul dans les trains de banlieue.

« Si on n'avait à desservir dans une gare qu'un service de banlieue, personne n'hésiterait à mettre le bâtiment de service en tête avec un trottoir pour chaque direction.

« Si on a à desservir à la fois des banlieues et des lignes de grand parcours, la question devient plus difficile, parce que le service en bout est très mauvais pour les grandes lignes, où les bagages jouent un rôle important. »

Voici de quelle manière on a résolu la question à la gare Saint-Lazare et à la gare du Nord.

Gare Saint-Lazare. — La gare Saint-Lazare a été reconstruite et agrandie il y a une vingtaine d'années, parce qu'elle était insuffisante pour répondre au mouvement énorme de voyageurs qu'elle doit desservir. Mais les modifications qui lui ont été faites n'ont pas altéré le principe d'après lequel la gare a été conçue. Nous parlerons donc d'abord de son état ancien.

La gare Saint-Lazare avait à desservir avant sa transformation cinq lignes de banlieue et une ligne de grand parcours, savoir :

Banlieue : Auteuil et Ceinture, Versailles (R. D.), Saint-Germain, Argenteuil.

Grande ligne : Paris à Rouen, Le Havre et Cherbourg.

La disposition adoptée était la suivante :

Six groupes de voies étaient affectés au service de la banlieue et compris entre des trottoirs longitudinaux aboutissant à un trottoir transversal placé en bout, comme l'indique la figure 333. Chacun de ces groupes comprenait généralement deux voies de quai et une ou deux voies de service permettant le remisage du matériel et le dégagement des machines; le bâtiment desservant ces voies était placé en bout, conformément aux principes que nous avons exposés plus haut.

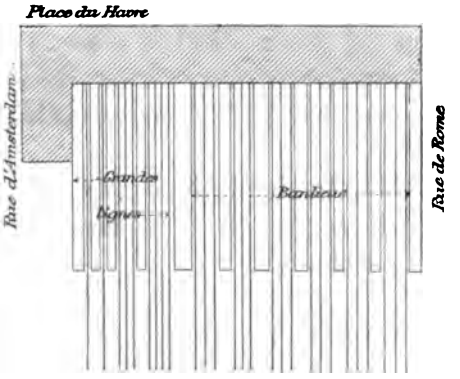


Fig. 332. — Gare Saint-Lazare. — Schéma de la disposition ancienne de la gare, Service des voyageurs.

Quant au service des grandes lignes, il était assuré par trois groupes de voies comprenant quatre voies de départ; deux voies d'arrivée et trois voies de service; le bâtiment affecté à ces voies était placé latéralement le long du trottoir de l'arrivée.

Le service se faisait de la manière suivante :

Pour la banlieue, le premier trottoir du côté de la rue de Rome ne servait qu'au départ de la première direction; le deuxième trottoir servait à l'arrivée de la première direction et au départ de la deuxième; le troisième trottoir servait à l'arrivée de la deuxième direction et au départ de la troisième, et ainsi de suite.

Pour les grandes lignes, le service se faisait comme nous l'avons indiqué à propos des gares terminales, avec cette différence que, comme il n'existait qu'un seul bâtiment placé le long du trottoir d'arrivée et affecté à la fois au départ et à l'arrivée, les voyageurs et les bagages au départ étaient obligés de faire le tour par le trottoir du bout, ce qui était incommode.

A part cet inconvénient, la gare Saint-Lazare était fort bien conçue et elle a suffi pendant longtemps pour desservir un mouvement considérable de voyageurs.

Mais l'augmentation toujours croissante de ce mouvement a enfin rendu

nécessaire l'agrandissement de la gare, qui a été exécuté de 1885 à 1889, de sorte que le service des trains y a été, à ce moment, organisé de la manière suivante.

Le service de banlieue comporte sept directions, savoir[1] :

Auteuil et le Champ-de-Mars ;

Versailles (R. D.), l'Étang-la-Ville et les Moulineaux ;

Saint-Germain ;

Argenteuil.

On a conservé, bien entendu, le principe du service en bout, qui convient seul aux lignes de banlieue ; mais, pour gagner du terrain et permettre de desservir les sept directions indiquées ci-dessus, on a supprimé la formation des trains à Paris-Saint-Lazare, ce qui a rendu les voies de remisage inutiles ; on a reporté la formation des trains aux gares terminus de Versailles, Saint-Germain, Auteuil et le Champ-de-Mars. « D'autre part, pour éviter l'obligation de dégager les machines des trains arrivant, on a organisé le service dans les mêmes conditions que dans les gares de Londres et notamment à Cannon Street : les machines restent enfermées derrière le train qu'elles ont amené, jusqu'au moment où celui-ci, repris par une autre machine, dégage la voie. Pendant ce temps, la machine se tourne sur un chariot à plaque, manœuvré hydrauliquement, et s'alimente d'eau ; le service est réglé de telle sorte que, quand la machine a effectué ces opérations, elle trouve généralement la voie libre. Pour la ligne d'Argenteuil toutefois, en raison du service commun avec le Nord, qui nécessite l'affectation spéciale des machines à leur train et de l'impossibilité de créer une gare de formation extérieure, on a dû maintenir l'ancien système et l'ancienne disposition des voies[2]. »

Les lignes de banlieue sont actuellement desservies par huit groupes de voies, comprenant seize voies de quai, établies entre des trottoirs longitudinaux comme dans l'ancienne disposition, le bâtiment qui dessert ces voies est placé en bout, le long d'un trottoir transversal auquel aboutissent tous les autres (fig. 334).

Quant au service de grandes lignes, il comprend maintenant quatre directions, savoir :

Le Havre ;

Cherbourg ;

Dieppe par Pontoise ;

Mantes par Argenteuil.

Il a à sa disposition quatre groupes comportant six voies de départ ; trois

[1] V. *Revue générale des Chemins de fer*. Juin 1889. Article de M. Lefèvre, sous-chef du mouvement à la compagnie de l'Ouest.

[2] Lefèvre. — Article cité.

voies d'arrivée et cinq voies de service pour le remisage des voitures en réserve.

Les bâtiments destinés aux grandes lignes sont situés, ceux de l'arrivée latéralement le long des trottoirs de l'arrivée, et ceux du départ en bout, en face de l'extrémité des voies de départ. L'inconvénient déjà signalé, qui

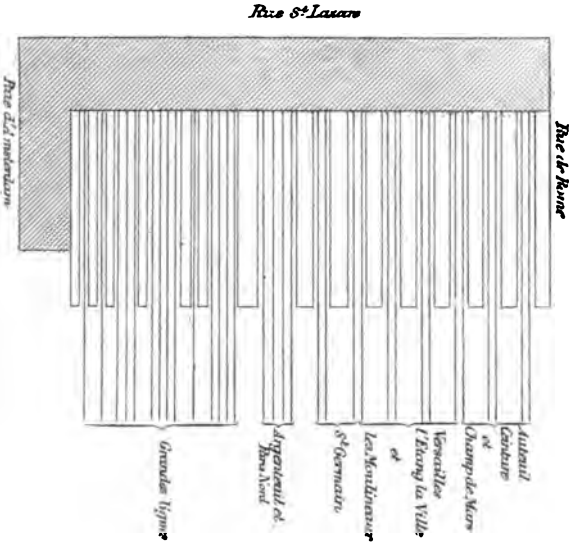


Fig. 334. — Gare Saint-Lazare. — Schéma de la disposition de la nouvelle gare. Service des voyageurs.

résulte de cette disposition, existe donc toujours; mais il est impossible à éviter complètement avec le système adopté pour le plan d'ensemble de la gare et il se trouve réduit au minimum par suite de la position du bâtiment de départ, le plus près possible des voies qui le desservent.

Ces agrandissements importants ont permis à la gare Saint-Lazare de desservir un mouvement énorme de voyageurs qui continue d'ailleurs à aller en croissant.

D'après l'article déjà cité de M. Lefèvre, le nombre total des voyageurs de la banlieue à Paris-Saint-Lazare a été en 1887, en y comprenant le départ et l'arrivée, de 25 418 926, savoir :

Auteuil et Ceinture	8 923 688
Versailles	5 554 215
L'Étang-la-Ville	402 154
Saint-Germain	4 526 556
Argenteuil et Paris-Nord	6 012 413
Total pareil	25 418 926

Ce total correspondant à une moyenne de près de 70 000 voyageurs par jour. Mais cette moyenne s'est trouvée souvent dépassée, et les dimanches

d'été, la gare a eu à desservir sur la banlieue un mouvement variant, suivant l'état du temps, entre 120 000 et 180 000 voyageurs. Ce chiffre s'est élevé plusieurs fois au-dessus de 200 000, par exemple le jour de la revue du 14 juillet 1880 (distribution des drapeaux), les jours du Grand Prix de Paris en 1885 et 1887 et enfin le jour du Grand Prix de 1889, où le mouvement a atteint 264 307 voyageurs.

Le mouvement sur les grandes lignes a été, en 1887, de 3 241 027 voyageurs, savoir :

Le Havre	2 371 044
Dieppe	367 856
Cherbourg	386 563
Bretagne	115 564
Total pareil	3 241 027

On se rendra compte de la progression que continue à suivre le mouvement des voyageurs à cette gare si l'on remarque que, pour 1904, le nombre total des voyageurs a été de 45 567 000, en y comprenant le départ et l'arrivée. Dans ce chiffre, les voyageurs en banlieue entrent pour 38 840 000.

Gare du Nord. — La gare du Nord a également un service de banlieue et un service de grandes lignes; la banlieue est beaucoup moins importante qu'à la gare Saint-Lazare, mais les grandes lignes le sont beaucoup plus. De là découle une différence notable dans les dispositions d'ensemble de la gare.

Au Nord, on a appliqué rigoureusement ce principe que le service des grandes lignes ne se fait bien que de côté et que celui de la banlieue ne se fait qu'en bout. On a donc placé des deux côtés de la gare (fig. 335) les bâtiments destinés au service des grandes lignes, départ et arrivée, et on a installé en bout le service de banlieue avec des trottoirs intermédiaires.

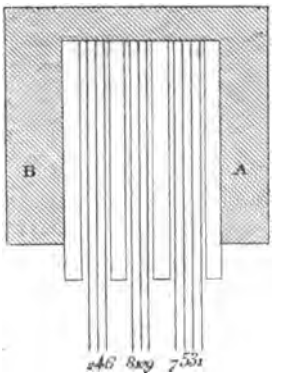


Fig. 335. — Gare du Nord. — Schéma de la disposition du service des voyageurs.

Dans ces conditions le service de la gare est extrêmement commode : tous les trains de grandes lignes partent sur la voie 1 et arrivent sur la voie 2 et ils sont desservis au départ et à l'arrivée par les bâtiments longitudinaux A et B, comme dans toutes les gares terminales. Quant aux trains de banlieue, ils partent et arrivent par les voies intermédiaires, 7, 9, 6, 8, comme à la gare Saint-Lazare.

Cette disposition, très commode pour le service de la gare, a un inconvénient qui est facile à comprendre. Toutes les grandes lignes ayant leur départ sur la voie 1 et leur arrivée sur la voie 2, quelle que soit leur direc-

tion réelle en dehors de la gare, il en résulte qu'une ligne dont la direction est à droite et dont le départ se fait à gauche doit nécessairement croiser toutes les autres au sortir de la gare pour aller prendre sa direction. Il en est de même pour l'arrivée. On peut être ainsi conduit, si l'on veut maintenir les lignes à leur niveau, à établir un grand nombre de croisements qui rendront l'exploitation fort difficile.

A la gare du Nord, on a préféré, plutôt que de s'exposer à cet inconvénient qui aurait été fort grave, établir une séparation complète entre les voies de départ et d'arrivée d'une même ligne aux abords de la gare, en les faisant croiser à des niveaux différents. Pour cela, on a dû modifier le tracé des lignes en plan et en profil et on est arrivé à faire tous les croisements au moyen de passages supérieurs et inférieurs. C'était un problème difficile et compliqué; il a été résolu d'une manière très habile par MM. Couche et Boucher. On trouvera, aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1867, un intéressant article de M. Boucher sur cette question.

Gares de triage. — On a reconnu que, dans certaines grandes gares de marchandises les manœuvres de wagons seraient tellement considérables que le service de ces gares serait très difficile et on a trouvé avantage à diviser ce service de la manière suivante : on installe à quelque distance de la gare de marchandises proprement dite une autre gare, dite *gare de triage*, qui sert uniquement à décomposer et à remanier tous les trains provenant des différentes artères du réseau, de manière à n'envoyer dans la gare proprement dite que des wagons triés et groupés suivant leur nature. On réduit ainsi au minimum les opérations à faire dans la gare même. Inversement les trains qui partent de la gare principale pour les différentes artères du réseau passent tous par la gare de triage, où l'on classe les wagons suivant leur destination. Dans certains cas, on se contente d'installer, à proximité de la gare principale, un certain nombre de voies destinées au triage ; mais les principes qui servent à leur établissement sont les mêmes dans les deux cas.

Les gares de triage ne sont, en définitive, que des annexes des grandes gares de marchandises, annexes qui présentent l'avantage de pouvoir être établies à une certaine distance des grands centres de population, là où le terrain n'est pas trop cher, ce qui permet de leur donner les grandes dimensions qu'on ne pourrait pas réaliser dans les gares de tête.

C'est en Angleterre que les gares de triage ont d'abord pris le plus grand développement; il y en a aussi beaucoup en Allemagne et en France. Nous citerons celle de Villeneuve-Saint-Georges, qui sert d'annexe à la gare de Bercy, celle de la Chapelle en tête du réseau du Nord, celle de la Guillotière près de Lyon, de Portes près de Valence, de Terre-Noire près de Saint-

Étienne, sur le réseau P.-L.-M., celles de Tergnier, Fives-Lille, Lens, Arras, sur le réseau du Nord, etc., etc.

Les manœuvres de wagons dans les gares de triage se font soit au moyen d'hommes, de chevaux, de locomotives, soit en utilisant une force naturelle, la pesanteur, pour effectuer la plus grande partie du travail ; ce dernier mode constitue le *triage par la gravité*. Voici, d'après M. Sévène, comment il a été organisé à la gare d'Edge-Hill, située près de Liverpool, la plus importante peut-être des gares de triage de l'Angleterre.

On a établi à flanc de coteau une énorme plate-forme inclinée suivant une pente de 12 millimètres par mètre, sur laquelle on a installé les différents groupes de voies destinés au triage. Tous les wagons sont amenés à la machine à la partie supérieure de la plate-forme et poussés sans aucun classement sur un premier groupe de voies de garage. Au-dessous de ce premier groupe se trouvent deux autres groupes de voies se faisant suite l'un à l'autre et appelés *grils*.

Chaque gril comporte huit à dix voies réunies par aiguille à l'entrée et à la sortie. Un wagon, sortant du premier groupe des voies de garage, descend par son propre poids et passe dans le premier gril sur telle ou telle voie, suivant le train auquel il est destiné ; il passe ensuite de même dans le second gril sur une voie ou sur l'autre, d'après la place qu'il doit occuper dans le train. « De telle sorte, dit M. Sévène, que les grils font l'office de deux cribles, le premier classant les wagons par train, le second par ordre dans le train, et les wagons, reçus pêle-mêle dans le groupe de garage au sommet du plan incliné, sortent du deuxième gril, au bas de ce même plan, en trains tout formés Le trajet s'opère par le seul effet de la gravité tempérée par un frein. Chaque wagon lâché porte en tête le numéro de la voie qui doit le recevoir, et l'aiguilleur la lui ouvre ; il chemine ainsi depuis le garage commun jusqu'au train qui l'emporte sans avoir reculé d'une semelle, ce qui du reste lui serait complètement impossible, puisque le chemin est en pente et que tout moteur est absent. »

Le système des grils usité en Angleterre n'est pas employé partout et les différentes gares de triage qui existent sont installées suivant des types assez divers. Mais partout le triage par la gravité est considéré comme le mode de manœuvre des wagons le plus avantageux au triple point de vue de la rapidité, de l'économie et de la sécurité.

Déjà dans un rapport publié en 1874 par une commission allemande d'agents supérieurs de chemins de fer, la conclusion suivante avait été adoptée :

« Le triage au moyen de voies de manœuvre en rampe convenablement disposées à cet effet, voies d'où les wagons, entraînés par la gravité, circulent par eux-mêmes jusqu'aux voies de classement, constitue le meilleur

système de triage que nous connaissions et le mieux approprié aux besoins des lignes allemandes, pour assurer l'important service de classement dans nos grandes gares de triage, dans le délai le plus court, avec l'emplacement le plus restreint, la plus grande économie et le moins de danger pour les hommes et le matériel. »

Dans sa session tenue à Milan en 1887, le Congrès international des chemins de fer a également proclamé la supériorité du triage par la gravité. Voici quelles ont été ses conclusions sur ce point :

« Les gares de triage sont les plus importantes au point de vue des manœuvres, puisqu'il ne s'y fait point, à proprement parler, d'autre service.

« Les opérations de triage peuvent se faire au moyen de machines de manœuvres qui conduisent le train à décomposer sur une voie spéciale, appelée *voie de tiroir*, et refoulent successivement sur les différentes voies d'un faisceau les wagons à séparer les uns des autres. Les voies du faisceau sont généralement réunies à une certaine distance des aiguillages par une ou plusieurs files de plaques tournantes ou par des chariots à vapeur.

« Dans d'autres gares, on utilise la pesanteur comme force motrice pour faciliter les opérations de triage ; les wagons sont conduits sur une voie en pente, d'où on les lance successivement sur les différentes voies du faisceau, pendant que la machine de manœuvre va chercher une autre rame à décomposer. Ailleurs le train est refoulé lentement sur une voie disposée en dos d'âne ; au fur et à mesure que les wagons arrivent au sommet du dos d'âne, on les décroche, ils s'engagent sur la contre-pente et se séparent les uns des autres, de manière à pouvoir franchir les différentes aiguilles. Cette opération peut être effectuée par la machine même du train, à la suite du mouvement de garage proprement dit ; on évite ainsi l'emploi des machines de manœuvre, tout au moins pour les opérations de débranchement.

« Ce système de manœuvres, connu sous le nom de triage par la gravité, est appliqué aujourd'hui sur un très grand nombre de réseaux ; il donne partout d'excellents résultats. La sécurité obtenue au moyen de freins-sabots est, pour ainsi dire, absolue. La dépense est beaucoup plus faible qu'avec les anciennes méthodes ; enfin la rapidité des opérations augmente considérablement le rendement de la gare »[1].

Les conditions d'établissement des gares de triage varient nécessairement

[1] En outre, à la session de Paris (1889) le congrès a adopté sur la même question la conclusion suivante :

« On ne peut fixer les résultats économiques des différents systèmes de triage en usage ; tous sont applicables suivant la disposition des lieux et l'importance des gares. Toutefois, il paraît résulter de la discussion à laquelle cette question a été soumise que, lorsque l'emplacement le permet et qu'il s'agit de trier un grand nombre de wagons pour un grand nombre de directions, c'est le triage à la gravité qui paraît le plus convenable. »

d'après la configuration du terrain et la nature des opérations à exécuter ; aussi ne peut-on donner de règles précises au sujet du plan à adopter.

En ce qui concerne l'inclinaison des voies, la pente de 0,010 m. par mètre paraît être celle qui donne les meilleurs résultats; certains ingénieurs pensent que les aiguilles doivent être établies en palier pour pouvoir plus facilement ramener les wagons qui auraient pris une fausse direction. En Angleterre, on augmente au contraire la pente aux aiguilles pour qu'elles soient franchies plus facilement. En général, il vaut mieux conserver une certaine pente aux aiguillages. Quant au nombre et à la longueur des voies, ils varient essentiellement et dépendent de l'importance du travail de triage à exécuter par la gare.

Nous ne pouvons pas entrer dans le détail de la description des dispositions adoptées dans les principales gares de triage en exploitation, nous croyons intéressant cependant de donner quelques renseignements sur l'installation du triage par la gravité dans une grande gare de marchandises et de montrer quelle importante économie peut procurer ce mode de classement des wagons. Nous citerons, à titre de renseignement, la gare de Périgueux (réseau d'Orléans), où le triage par la gravité fonctionne depuis le commencement de 1886. Les renseignements qui suivent sont empruntés à une note de M. Sabouret, alors ingénieur de la voie à la compagnie d'Orléans, publiée par la *Revue générale des chemins de fer* (février 1888).

Il ressort de cette note que le triage par la gravité a pu être installé à peu de frais dans la gare de Périgueux et que son application procure une économie importante dans les dépenses d'exploitation.

La dépense pour la transformation de la gare s'est élevée à 80 000 francs, dont 22 000 sont imputés au compte d'exploitation (déplacement et renouvellement de voies et appareils existants) et 58 000 au compte de premier établissement (modification de la plate-forme, pose de voies et appareils en augmentation).

L'économie annuelle des frais de manœuvre, à la suite de cette transformation, est supérieure à 40 000 francs.

La gare de Périgueux est établie au croisement des deux lignes de Limoges à Agen et de Coutras à Brive; elle reçoit en outre les trains de l'embranchement de Ribérac, qui se soude à la ligne de Coutras, à six kilomètres de Périgueux. Le nombre moyen des wagons reçus par jour dans la gare a été de 750 en 1884; il a atteint 765 au mois d'octobre 1886.

Les voies principales sont en alignement droit et en palier dans toute la traversée de la gare. D'un côté de ces voies, à gauche en allant vers Agen ou Brive, sont installés les services de voyageurs et de la traction; de l'autre

côté, les divers services des marchandises, service local, transbordement, triage, etc.

Les voies de marchandises forment un long faisceau, dont les deux extrémités sont reliées par aiguilles aux voies principales et sont commandées par des voies de tiroir; elles sont réunies transversalement par quatre batteries de plaques. C'est, en somme, une disposition analogue à celle que représente la figure 325.

Avant la modification des voies, le triage s'exécutait simultanément au centre du faisceau par les plaques avec des chevaux et aux deux extrémités par des manœuvres à la machine. La voie de tiroir qui commande le faisceau du côté de Limoges avait même été dédoublée pour permettre l'emploi simultané de deux machines de ce côté.

On dépensait en moyenne cinquante-six heures de machine par jour.

La tête du faisceau, côté Limoges, a seule été modifiée pour l'application du triage par la gravité et les modifications faites se réduisent aux travaux suivants :

1° Deux voies nouvelles ont été intercalées entre les anciennes;

2° Toutes les voies du faisceau, au nombre de quinze, ont été réunies à l'origine du côté de Limoges, sur une traversée-jonction double, prolongée par une voie de sortie sur les voies principales et une voie de tiroir;

3° Le profil en long de la voie de tiroir a été dressé en forme de dos d'âne;

4° Tous les leviers de manœuvre des aiguilles du faisceau de triage ont été groupés en un même point, à droite des voies;

5° L'éclairage a été modifié et augmenté pour donner plus de lumière le long de la voie de lancement et à la tête du faisceau.

Ces divers travaux ont été exécutés sans élargissement de la plate-forme.

Cela posé, voici comment se font les manœuvres :

On peut recevoir quatre trains à la fois sans engager les voies principales. La reconnaissance des wagons est faite dès l'arrivée du train, sur la voie où il est reçu. Pendant cette opération, deux ou trois hommes d'équipe détachent les chaînes des wagons que le triage doit séparer. Puis une machine de manœuvre conduit le train sur la voie de tiroir en dos d'âne.

La manœuvre de débranchement est dirigée par un chef d'escouade, qui se tient au sommet du dos d'âne; il commande au machiniste avec sa lanterne ou son drapeau. Près du sommet et au delà, un homme d'équipe décroche les manilles d'attelage, en les soulevant de l'extérieur de la voie au moyen d'un bâton, qu'il appuie sur les tampons.

Le chef d'escouade inscrit à la craie sur chaque rame de wagons, à mesure qu'elle se présente : 1° sur le devant de la caisse du premier wagon, le numéro de la voie sur laquelle la rame doit être dirigée; 2° sur le côté du dernier wagon, puis derrière, le numéro de la voie que doit prendre la rame

suivante. Le premier de ces chiffres ne fait que confirmer l'indication donnée par les deux derniers chiffres de la rame précédente ; le second avertit l'aiguilleur qui se tient à droite des voies ; le troisième est destiné à renseigner un chef d'escouade placé au centre du faisceau, qui prévient à la voix ou à la corne les hommes d'équipe chargés d'arrêter les wagons lancés.

Ces inscriptions sont employées la nuit aussi bien que le jour ; leur lecture est facilitée par un bec de gaz intensif avec réflecteur, placé près de l'aiguilleur.

Les wagons sont ordinairement arrêtés à l'aide d'un sabot en fer, posé sur le rail ; chaque voie a son sabot et un seul homme est chargé de la manœuvre des sabots de deux ou trois voies.

Le débranchement d'un train de 50 wagons dure de quinze à vingt minutes ; celui d'un train de 100 wagons, de trente à trente-cinq minutes.

Le profil en long de la voie en dos d'âne, qui était en partie commandé par la disposition des lieux, est établi de la manière suivante, en allant de Limoges vers Agen :

Le refoulement se fait sur une rampe de 5,7 mm. et le lancement sur une pente, ayant 77 mètres de longueur, et présentant, à partir du sommet, les déclivités successives suivantes :

20	millimètres sur	11	mètres de longueur ;
5	—	33	—
9	—	33	—

La tête du faisceau des voies se prolonge ensuite en pente de 4 millimètres sur 170 mètres, pour aboutir au palier général.

La hauteur du sommet au-dessus du palier général est de 1,69 m. ; c'est une hauteur de chute un peu forte. On s'est concentré de 1,62 m. à Juvisy, de 1,35 m. à Is-sur-Tille et de 0,95 m. à Châlons-sur-Marne. A Périgueux, cette hauteur se justifie par la longueur des voies et par les nécessités spéciales du service de la gare. M. Sabouret estime cependant qu'il eût été préférable de donner au profil de la voie de lancement les déclivités suivantes :

15 millimètres sur 50 mètres jusqu'à la première aiguille ;

6 millimètres sur 60 mètres, à la traversée des premiers appareils ;

2 millimètres sur 100 mètres au delà.

La hauteur de chute eût été ainsi réduite à 1,31 m.

La rampe de 5,7 m. sur laquelle on refoule les wagons, est également un peu forte ; mais elle était imposée par la disposition des abords.

L'application du triage par la gravité a permis de faire à Périgueux une économie annuelle de plus de 40 000 francs par an dans les frais d'exploitation, et cette économie provient exclusivement de la réduction des heures de machine, le personnel ancien ayant été conservé sans modification. En effet, le nombre moyen des heures de machine par jour a été réduit de 56

à 24; cette diminution de trente-deux heures par jour, à 4 francs l'heure, donne une économie annuelle de 46 720 fr. dont il convient de retrancher les frais d'éclairage supplémentaire, d'usure des sabots et les avaries du matériel roulant, qui n'atteignent pas en tout 6 000 francs par an.

La dépense de traction et de main-d'œuvre par wagon reçu et trié à la gare de Périgueux s'établit de la manière suivante :

1° Salaire annuel des agents exclusivement employés au triage par la gravité		
4 chefs d'escouade	5 700 fr.	21 540 fr.
2 aiguilleurs	2 700 —	
12 hommes d'équipe	13 140 —	
2° Machine de manœuvre (24 heures par jour)		
365 × 24 = 8 760 à 4 fr.		35 040 —
3° Dépense annuelle des agents et des chevaux employés aux manœuvres par plaques et au service des voies des quais		
1 chef d'équipe	1 950 fr.	32 437 fr.
2 sous-chefs d'équipe	3 300 —	
2 chefs d'escouade	2 550 —	
13 hommes d'équipe	14 235 —	
3 chevaux à 9 fr. 50 par jour	10 402 —	
Les deux tiers au plus de cette dépense sont applicables au triage, soit		21 625
Total des frais annuels du triage		78 205 —

Cette somme, divisée par le nombre de wagons reçus en 1884, qui est de 273 670, donne une dépense de 0,285 fr. par wagon.

Cette dépense était de 0,456 fr. avant la modification des voies et l'emploi du triage par la gravité.

D'après M. A. Jacqmin (*Revue générale* de mars 1883), les frais de manœuvre par wagon reçu dans un certain nombre de gares de triage par la gravité, soit en France, soit en Allemagne, varient de 0,28 fr. à 0,33 fr.

Le résultat obtenu à Périgueux concorde bien avec ceux-là [1].

[1] Voir au sujet des gares de triage les publications suivantes :

Annales des Ponts et Chaussées. — 1876. — *Les gares de triage*, par M. J. Michel.

Revue générale des Chemins de Fer :

Janvier 1880. — *Notes sur les opérations de manutention dans les gares*, par M. A. Sartiaux.

Février et mars 1883. — *Etude sur les gares de triage par la gravité*, par M. A. Jacqmin.

Mai 1883. — *Résultats comparatifs obtenus avec les diverses dispositions de voies de triage des wagons, à la compagnie P.-L.-M.*

Juillet 1887. — *Gare de Villeneuve-triage de la compagnie P.-L.-M.*, par M. J. Michel.

Février 1888. — *Triage par la gravité à la gare de Périgueux*, par M. Sabouret.

Novembre 1891. — *Notes sur l'application du triage par la gravité à la gare des Aubrais*, par M. Jégou d'Herbeline.

Mai 1896. — *Transformation générale des gares de Dresde et la nouvelle gare de triage de Dresde-Friedrichstadt*, par M. P. Haag.

Août 1897. — *Gare de triage de Condren* (C^ie^ *du Nord*), par M. Delaunay.

Consulter également :

Notes sur les dispositions des voies dans les gares, par M. Blum. — *Bulletin du Congrès international des Chemins de fer.* — Août 1902.

CHAPITRE II

BATIMENTS DES GARES ET STATIONS

§ 1er. — Service des voyageurs. — Petites stations. — Stations moyennes. — Gares principales. — Stations de bifurcation. — Gares terminales. — Gares de Paris. — Trottoirs. — Halles. — Fermes à la Polonceau. — Calcul de leur résistance. — Surface à donner aux bâtiments des voyageurs.

§ 2. — Service des marchandises. — Quais découverts. — Halles. — Type des petites stations. — Type des gares importantes. — Surface à donner aux quais à marchandises.

§ 3. — Service de la traction. — Remises de voitures. — Remises de machines. — Petites remises. — Fosses à piquer le feu. — Grands dépôts de machines. — Divers systèmes employés : rotonde, demi-lune, remise rectangulaire.

Après avoir étudié dans le chapitre précédent les dispositions d'ensemble des stations, nous avons maintenant à faire connaître leurs installations intérieures, c'est-à-dire celles des bâtiments destinés aux différents services.

Ces bâtiments peuvent être divisés en trois catégories, suivant qu'ils se rapportent au service des voyageurs, à celui des marchandises, ou à celui de la traction.

Nous étudierons successivement ces trois catégories.

§ 1er. — SERVICE DES VOYAGEURS

Le bâtiment des voyageurs d'une petite station doit comprendre les installations nécessaires : 1° pour la distribution des billets ; 2° pour l'enregistrement des bagages ; 3° pour l'attente du train. Il se compose donc généralement, comme l'indique la figure 336, d'un vestibule d'entrée servant de salle d'attente pour les voyageurs de deuxième et troisième classe, d'un bureau pour le chef de station avec un guichet pour la distribution des billets, d'un espace réservé au facteur chargé de l'enregistrement des bagages et, ordinairement, d'une salle d'attente spéciale pour les voyageurs de première classe.

Ces diverses installations sont réunies au rez-de-chaussée du bâtiment ; le premier étage est réservé au logement du chef de station.

Quant à l'abri situé de l'autre côté des voies, on peut le constituer,

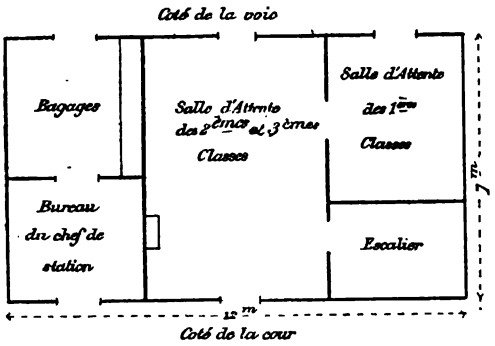


Fig. 336. — Bâtiment des voyageurs pour petite station.

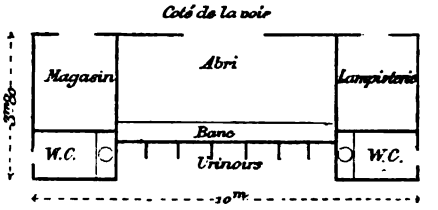


Fig. 337. Abri pour petite station.

comme l'indique la figure 337, au moyen d'un petit bâtiment comprenant

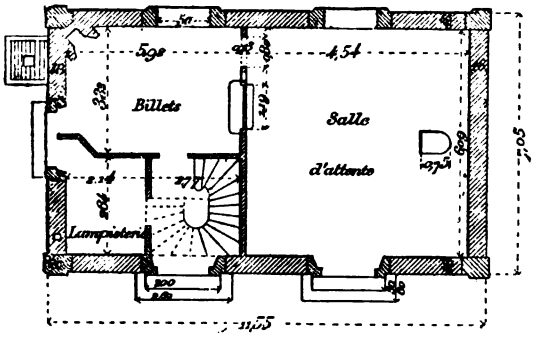


Fig. 338. — Station de 4e classe du réseau central. Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{200}\right)$.

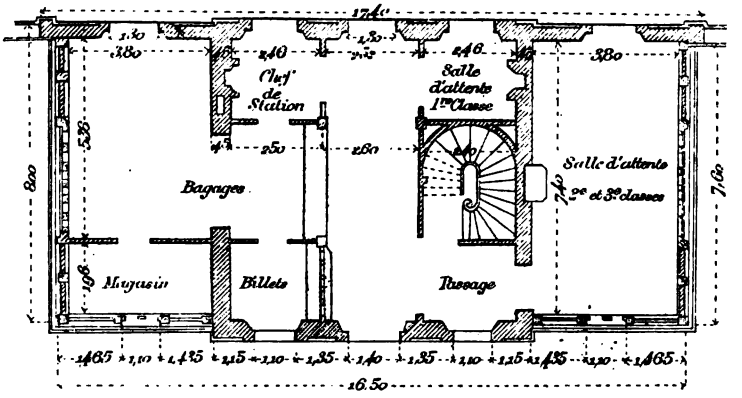


Fig. 339. — Petite station de la compagnie de l'Est $\left(\frac{1}{200}\right)$.

au milieu l'espace réservé aux voyageurs avec un banc au fond et de

chaque côté deux petites pièces servant l'une de lampisterie, l'autre de magasin ; derrière, on place les urinoirs et les cabinets d'aisance.

Nous représentons, figures 338 à 341, quatre exemples de bâtiments des voyageurs pour petites stations, empruntés aux compagnies françaises et à

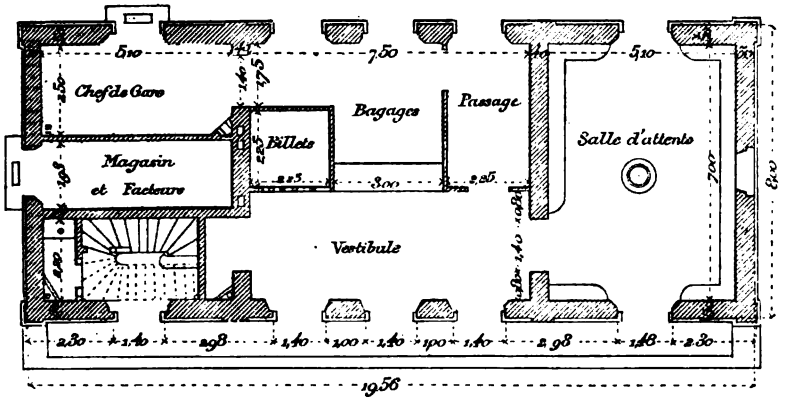


Fig. 340. — Station de 3e classe de la compagnie P.-L.-M. $\left(\frac{1}{200}\right)$.

la ligne de Pampelune à Saragosse. Leur distribution intérieure diffère plus ou moins de celle qui est indiquée par la figure 336 ; mais ils comprennent

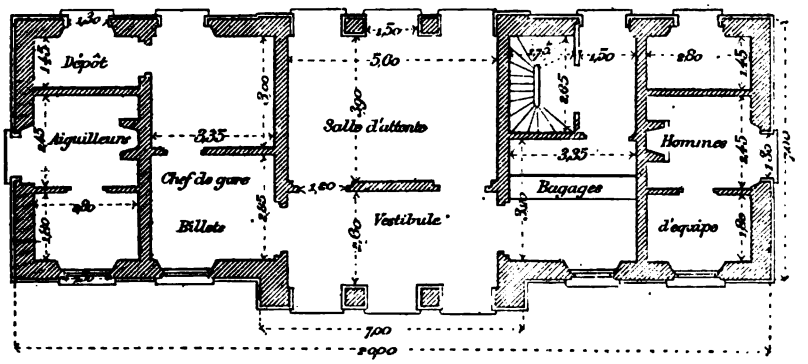


Fig. 341. — Station de 3e classe. Chemin de Pampelune à Saragosse $\left(\frac{1}{200}\right)$.

tous, sauf celui de la figure 338 qui est tout à fait rudimentaire, au moins la salle d'attente, le vestibule, le bureau pour les billets et l'emplacement spécial pour l'enregistrement des bagages.

En donnant au bâtiment des voyageurs 12 à 15 mètres de longueur sur 6 à 7 mètres de largeur et à l'abri 10 mètres de longueur sur 3,50 m. à 4 mètres de largeur, on peut desservir facilement un mouvement de 10 000 à 12 000 voyageurs par an au départ ; ces installations peuvent même suffire jusqu'à 20 000 voyageurs par an.

Au delà de ce nombre on rentre dans les stations de moyenne impor-

tance, qui nécessitent un bâtiment plus étendu. Le moyen le plus simple pour obtenir l'agrandissement nécessaire consiste à conserver un bâtiment central différant peu des précédents et comportant un rez-de-chaussée et un

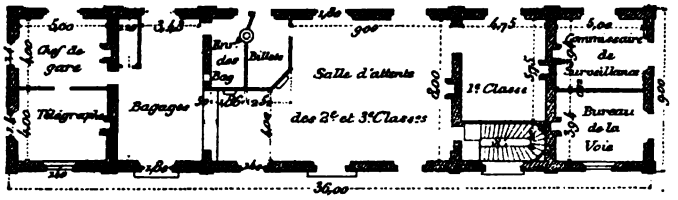


Fig. 342. — Bâtiment des voyageurs pour station moyenne. Station de Romorantin. Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{400}\right)$.

étage, et à le flanquer de deux ailes ayant un rez-de-chaussée seulement; ou augmente ainsi dans la proportion voulue l'espace nécessaire pour public, sans augmenter en même temps le logement du chef de station.

La figure 342 représente la disposition d'une gare moyenne ; c'est celle qui a été adoptée pour Romorantin (réseau d'Orléans). Le vestibule d'entrée sert encore de salle d'attente pour les voyageurs de deuxième et troisième classe ; mais il y a en outre une salle spéciale pour les bagages et messa-

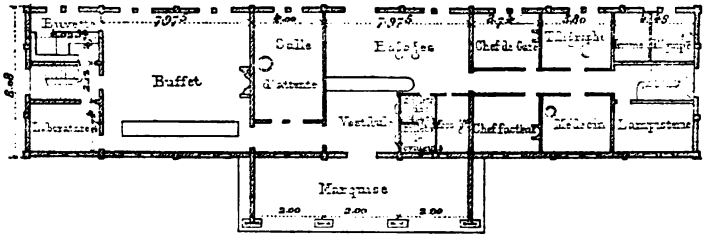


Fig. 343. — Bâtiment des voyageurs pour station moyenne. Station de Lamothe. Compagnie du Midi $\left(\frac{1}{400}\right)$.

geries, une pièce réservée au télégraphe, un bureau pour le commissaire de surveillance administrative et un autre pour le service de la voie.

Dans la figure 343 nous représentons une disposition un peu différente adoptée à la station de Lamothe (chemins de fer du Midi), où il existe un buffet.

Si nous passons maintenant aux gares principales, le programme des installations devient immédiatement plus considérable.

En premier lieu, les voyageurs étant beaucoup plus nombreux, on ne peut les laisser attendre dans le vestibule où se fait la distribution des billets et l'enregistrement des bagages ; il faut des salles d'attente spéciales, et il en faut généralement une par classe.

En outre, il faut séparer le service des bagages à l'arrivée de celui des

bagages au départ, afin d'éviter l'encombrement qui résulterait du passage des trains se succédant à de courts intervalles. De même la messagerie, c'est-à-dire le service des marchandises en grande vitesse, prenant plus d'importance, il faut lui ménager une installation séparée.

Enfin c'est dans les gares principales qu'on place généralement les buffets et les buvettes ; c'est dans ces gares également qu'on installe les bureaux des agents du service de l'exploitation, dont les attributions s'étendent sur une certaine portion du réseau, qui a son centre dans la gare ; il faut aussi un bureau pour les sous-chefs de gares, etc.

Il y a bien des manières de donner satisfaction à ce programme et, si l'on jette les yeux sur les dispositions des bâtiments dans les diverses gares principales, on constatera d'assez notables différences entre elles. Toutefois, il y a un certain nombre de conditions obligées qui font que les plans des stations varient moins qu'on ne pourrait le croire au premier abord; ainsi, quelle que soit la disposition adoptée, il faut que les salles d'attente, le bureau du chef de gare, celui des sous-chefs et le buffet aient directement accès sur la voie ; il faut encore que la sortie des voyageurs soit contiguë à la salle des bagages à l'arrivée, que les salle d'attente soient auprès du vestibule de distribution des billets, etc.

La figure 344 représente le plan d'un bâtiment qui satisfait à ces diverses conditions ; c'est celui de la gare de Lorient (réseau d'Orléans). On pourrait, bien entendu, en citer beaucoup d'autres et nous ne le donnons qu'à titre d'exemple.

Il a d'ailleurs un inconvénient, c'est que le buffet, placé longitudinalement le long de la voie, y occupe une longueur bien grande ; on peut l'éviter en le plaçant dans une aile en retour sur la cour des voyageurs avec une aile symétrique

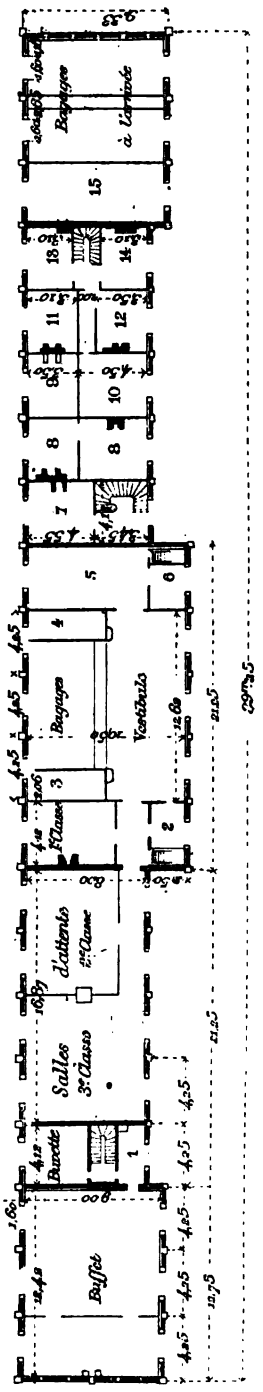


Fig. 344. — Bâtiment des voyageurs pour gare principale. Gare de Lorient. Plan du rez-de-chaussée. — Échelle de 0m,002 par mètre.
1. Laboratoire. — 2. Correspondances. — 3. Billets. — 4. Enregistrement des bagages. — 5. Messageries. — 6. Objets en souffrance. — 7. Chef de gare. — 8. Télégraphe — 9. Sous-chefs de gare. — 10. Hommes d'équipe. — 11. Commissaire de surveillance. — 12. Bureau de la voie. — 13. Boules d'eau. — 14. Lampisterie. — 15. Sortie des voyageurs.

dans laquelle on installe les bureaux. Le buffet n'occupe alors le long de la voie que l'espace nécessaire à sa largeur, mais on tombe alors dans un autre inconvénient, c'est que le bâtiment ainsi disposé est difficilement extensible.

Quoi qu'il en soit, les deux dispositions sont usitées et la seconde a été employée à Toulouse, à Agen, à Rennes, au Mans, etc.

Dans les stations de bifurcation, il n'y a pas de modifications à apporter aux dispositions qui précèdent ; il faut seulement donner des dimensions un peu plus grandes aux installations qui concernent le service de passage c'est-à-dire aux salles d'attente et au buffet.

Enfin, dans les gares terminales, on place comme nous l'avons vu tout ce qui se rapporte au départ d'un côté, tout ce qui se rapporte à l'arrivée de l'autre ; le fond de la gare est constitué soit sur un simple pignon, soit par un bâtiment dans lequel on installe les bureaux d'ingénieur de la voie ou d'inspecteur de l'exploitation.

Quant aux dispositions du service des voyageurs, elles varient assez peu dans ces gares. Du côté du départ, on place un grand vestibule entre les salles d'attente d'une part et la salle des bagages de l'autre ; du côté de l'arrivée, on met une vaste salle pour la distribution des bagages, une salle d'attente contiguë à la première et une sortie pour les voyageurs, avec un espace réservé aux personnes qui viennent attendre quelqu'un à l'arrivée du train. C'est cette disposition qui a été adoptée à Paris à la gare d'Orléans et aussi, à peu de choses près, à celle de Paris-Lyon-Méditerranée.

Dans les gares terminales, c'est le service des bagages qui occupe la plus grande partie des bâtiments, surtout du côté de l'arrivée ; les bancs destinés à la manipulation des bagages doivent avoir un grand développement et nécessitent, par conséquent, une grande longueur quand on les établit en ligne droite. A la gare du Nord, à Paris, on restreint cette longueur en donnant à ces bancs une forme repliée sur elle-même, comme l'indiquent les figures 345 et 346, qui représentent, tels qu'ils étaient encore il y a peu d'années, la première la partie de la gare affectée au départ des voyageurs des grandes lignes et de la messagerie, la seconde le service des bagages à l'arrivée. Depuis, l'augmentation du trafic a conduit à des modifications et des agrandissements de ces dispositions. Mais le principe n'en est pas changé.

Indépendamment des bâtiments proprement dits, nous avons encore à signaler, en ce qui concerne le service des voyageurs, les trottoirs et les halles.

Trottoirs. — Les trottoirs sont de deux espèces, les trottoirs bas et les trottoirs hauts. Les premiers se placent à 25 ou 30 centimètres au-dessus

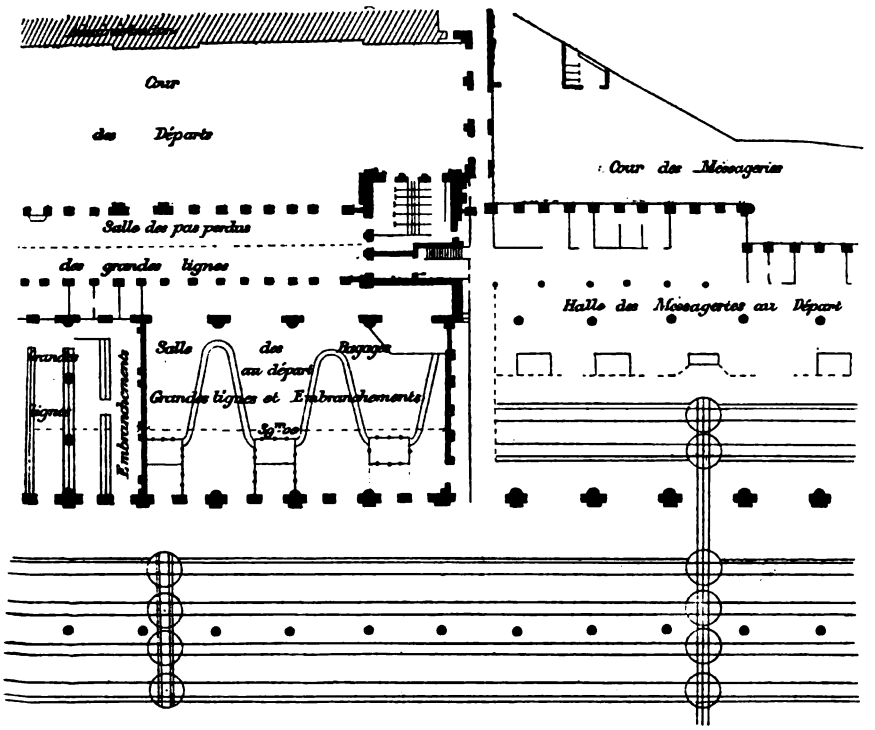


Fig. 345. — Bagages au départ. Gare du Nord $\left(\frac{1}{1000}\right)$

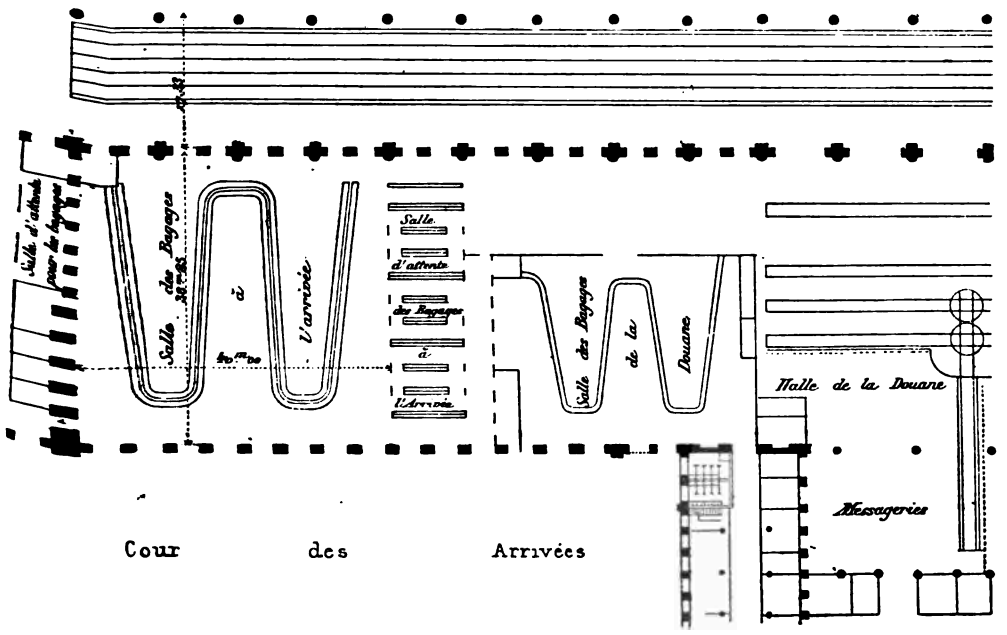


Fig. 346. — Bagages à l'arrivée. Gare du Nord $\left(\frac{1}{1000}\right)$.

du rail, de manière à permettre aux voyageurs d'aborder facilement le marchepied inférieur des voitures. Les seconds, qui sont établis au niveau du plancher des wagons, c'est-à-dire à 1 mètre environ au-dessus des rails, ont l'avantage de permettre d'entrer dans les trains et d'en sortir avec une grande facilité ; mais ils ont l'inconvénient de rendre le service de la gare très incommode, notamment pour le transport des bagages et pour la visite des wagons et le graissage des essieux ; en outre, quand les voyageurs ont à traverser les voies pour s'embarquer, ces trottoirs constituent un obstacle très gênant pour leur circulation.

Les trottoirs hauts sont, en somme, à peu près abandonnés, sauf en Angleterre où on les emploie encore. Ils ne se justifient, à notre avis, que sur les chemins de fer métropolitains, où la condition la plus importante à remplir est la rapidité de l'embarquement et du débarquement des voyageurs et où ceux-ci n'ont jamais à traverser les voies, chaque trottoir ayant un

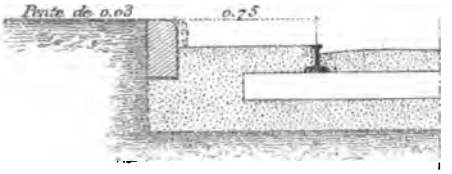


Fig. 347. — Trottoir pour voyageurs.

dégagement spécial. Sur tous les autres chemins de fer, les trottoirs bas sont préférables ; on n'en emploie plus d'autres en France.

On leur donne, avons-nous dit, une longueur de 100 mètres ; leur largeur est de 4 mètres dans les petites stations et de 6 mètres dans les gares importantes. On les constitue au moyen d'un terre-plein et d'une bordure que l'on fait soit en pierre, soit en bois (fig. 347). Toutes les fois que la différence de prix n'est pas trop grande, il ne faut pas hésiter à donner la préférence aux bordures de trottoirs en maçonnerie, dont l'entretien est toujours beaucoup plus économique. Dans les grandes gares, la surface entière des trottoirs est recouverte d'un dallage en asphalte ou en ciment ; dans les stations moyennes, on se contente de daller la partie située devant le bâtiment ; dans les petites stations on peut supprimer tout dallage, mais il faut avoir soin de recouvrir le terre-plein de sable ou de gravier comprimé.

Pour permettre l'écoulement des eaux, on donne aux trottoirs une pente transversale de 0,02 m. ou 0,03 m. par mètre vers les voies ; on a soin également de tenir les seuils des bâtiments à 0,10 m. environ au-dessus du niveau des trottoirs, pour empêcher l'eau des pluies d'envahir l'intérieur de ces bâtiments.

Halles. — Dans les gares d'une certaine importance, les voies affectées aux voyageurs sont couvertes, ainsi que les trottoirs qui les longent, par

une halle qui les met à l'abri. Ces halles ont généralement d'assez grandes portées et le système de charpente métallique le plus employé pour former les combles qui en soutiennent la toiture est celui de la ferme Polonceau, du nom de l'ingénieur qui l'a imaginée.

C'est un système articulé (fig. 348), formé de deux arbalétriers AB, BC, soutenus en leurs milieux par des bielles DE, FG, qui leur sont perpendiculaires. Ces bielles sont réunies aux extrémités des arbalétriers par des

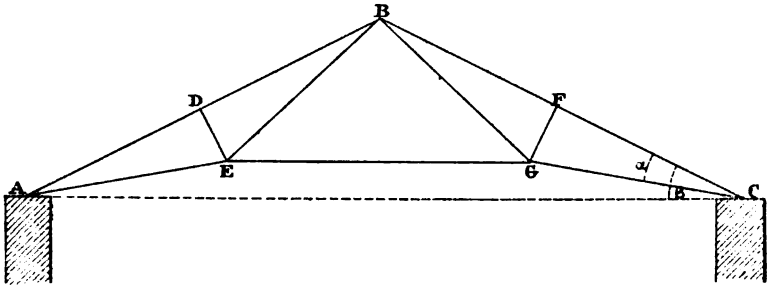


Fig. 348. — Halle à voyageurs. — Ferme Polonceau.

tirants AE, EB, CG, GB ; en outre, un tirant horizontal EG réunit les deux moitiés de la ferme pour l'empêcher d'exercer une grande poussée sur les supports.

Voici comment on peut faire le calcul de ces fermes, d'après le *Traité de la Résistance des matériaux* de M. Bresse.

Désignons par $2a$ la distance AC et par p le poids, uniformément réparti suivant l'horizontale, qui représente la charge par mètre courant de la charpente, en y comprenant son poids propre. Nous allons déterminer les forces auxquelles les différentes pièces ont à résister.

Considérons la demi-ferme AB, en équilibre sous l'action des forces qui lui sont appliquées. Les forces verticales sont : 1° le poids de la demi-ferme, pa; 2° la composante verticale de la réaction de l'appui A, qui est égale au poids de la demi-ferme, pa.

Ces deux forces forment un couple (pa, $-pa$) dont le bras de levier est très peu différent de $\frac{a}{2}$, parce que le poids des bielles et des tirants est faible par rapport à celui des arbalétriers : le moment de ce couple est donc $\frac{pa^2}{2}$.

Quant aux forces horizontales, elles sont : 1° la réaction de l'autre moitié de la ferme au point B ; 2° la tension T du tirant EG ; 3° la composante horizontale de l'appui A. Nous supposons que le tirant EG soit suffisamment tendu pour que cette dernière force soit nulle. Dès lors, la réaction en B sera égale et contraire à la tension T ; de sorte que les forces horizontales se réduiront à un couple, dont le bras de levier sera la distance du point B au-dessus de l'horizontale EG, soit b, et dont le moment sera Tb.

On aura donc, pour l'équilibre :

$$Tb = \frac{pa^2}{2},$$

d'où l'on tire

$$T = \frac{pa^2}{2b},$$

égalité qui fait connaître la valeur de la tension qu'il convient de donner au tirant EG.

Cette tension se réalise habituellement au moyen d'un écrou placé au milieu du tirant et présentant deux surfaces de vis filetées en sens contraire, ce qui permet de rapprocher l'une de l'autre les deux moitiés du tirant et, par suite, d'obtenir le serrage convenable.

Pour déterminer la tension des autres pièces, nous supposerons que les trois points A, D et B soient en ligne droite. C'est une condition qui doit toujours être réalisée par les constructeurs au moyen d'un serrage convenable des tirants AE et BE, serrage qui s'obtient par le même procédé que celui du tirant EG.

Dès lors, l'arbalétrier AB peut être considéré, eu égard aux forces qui agissent normalement sur lui, comme une poutre droite reposant sur trois appuis de niveau. Dans ces conditions, en appelant :

α l'angle de l'arbalétrier avec l'un des tirants qui soutiennent la bielle ;

β celui de ce même arbalétrier avec l'horizontale ;

S la tension du tirant BE;

Q celle du tirant AE;

R la pression de la bielle DE ;

on trouve, en appliquant des théorèmes connus de la résistance des matériaux, les résultats suivants :

$$S = \frac{pa}{2 \sin \alpha}\left(\frac{a \sin \beta}{b} - \frac{3}{8}\cos \beta\right).$$

$$Q = \frac{13pa \cos \beta}{16 \sin \alpha},$$

$$R = \frac{5}{8} pa \cos \beta.$$

Connaissant les quatre forces T, S, Q, R, on peut facilement vérifier les conditions de résistance des pièces qui composent la ferme.

Quelquefois on ajoute aux fermes Polonceau un poinçon, qui soutient le tirant EG en son milieu, de manière à rendre insensible à l'œil la flexion de cette pièce. On règle la tension du poinçon aux $\frac{5}{8}$ du poids du tirant; cela ne modifie pas sensiblement les résultats ci-dessus.

Quand la portée devient très grande, par exemple quand elle dépasse une

trentaine de mètres, l'adoption de la ferme Polonceau, telle qu'elle vient d'être décrite, conduirait à des arbalétriers d'une section trop considérable.

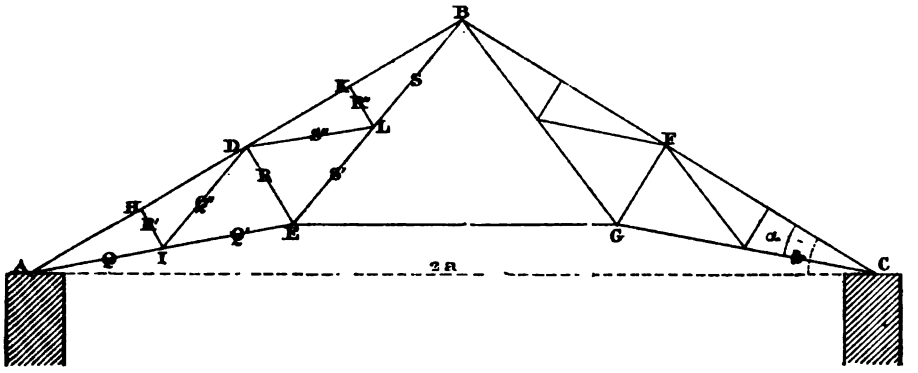


Fig. 349. — Halle à voyageurs. Ferme Polonceau pour portée supérieure à 30 mètres.

On emploie alors une forme représentée par la figure 349. Elle ne diffère de la précédente qu'en ce que les arbalétriers y sont soutenus par trois bielles au lieu d'une, de sorte qu'ils deviennent des poutres à quatre travées égales; en outre, le nombre des tirants, qui était de deux dans chaque demi-ferme, devient égal à quatre.

Le calcul des forces appliquées aux différentes pièces se fait comme précédemment.

La tension T du tirant principal conserve la même valeur

$$T = \frac{pa^2}{2b}.$$

Quant à celles des tirants secondaires, en supposant toujours que l'arbalétrier forme une ligne droite, c'est-à-dire qu'il ne présente pas de flèche aux points H, D et K, on trouve pour elles les valeurs suivantes :

$$Q = \frac{101}{112} pa \frac{\cos\beta}{\sin\alpha},$$

$$Q' = \frac{85}{112} pa \frac{\cos\beta}{\sin\alpha},$$

$$Q'' = \frac{1}{7} pa \frac{\cos\beta}{\sin\alpha},$$

$$S = \frac{T\sin\beta}{\sin\alpha} - \frac{11}{112} pa \frac{\cos\beta}{\sin\alpha},$$

$$S' = \frac{1}{\sin\alpha}\left(T\sin\beta - \frac{27}{112} pa\cos\beta\right),$$

$$S'' = Q'' = \frac{1}{7} pa \frac{\cos\beta}{\sin\alpha}.$$

Enfin les pressions des bielles R, R' et R'' sont :

$$R = \frac{29}{56} pa\cos\beta,$$

$$R' = R'' = \frac{2}{7} pa\cos\beta.$$

Toutes ces forces étant connues, la vérification des conditions de résistance de la ferme se fait facilement.

Surface a donner aux batiments des voyageurs. — Quelle que soit la distribution que l'on adopte pour les différents locaux affectés au service des voyageurs, il y a une condition qu'il faut toujours remplir, c'est de donner à l'ensemble des bâtiments une surface suffisante pour desservir le mouvement de la station ; si l'expérience fait reconnaître que la distribution des pièces est défectueuse, on peut à la rigueur la modifier, mais à la condition de disposer d'une surface suffisante.

D'après des relevés faits sur un assez grand nombre de stations, M. Sévène indiquait, dans son *Cours de Chemins de fer*, que l'ensemble des surfaces bâties destinées au service des voyageurs devait être de 1^{m2} environ par centaine de voyageurs expédiés annuellement. Mais M. Bricka fait remarquer que ce chiffre a été établi à une époque où les voyageurs restaient enfermés dans les salles d'attente jusqu'au moment de l'arrivée des trains et où les voyages à courte distance par chemin de fer étaient beaucoup moins développés qu'aujourd'hui. Actuellement, on peut admettre, pour une station de faible ou de moyenne importance, que la surface du bâtiment des voyageurs est suffisante tant que le nombre de voyageurs expédiés annuellement ne dépasse par 200 à 300 par mètre carré. Dans les grandes gares, le rapport de la surface bâtie au nombre de voyageurs expédiés augmente assez notablement au lieu de décroître, comme on pourrait le penser. Cela tient aux installations supplémentaires, tels que buffets, bureaux pour les différents services, etc., que le développement du trafic conduit à y établir.

Prix de revient. — On peut évaluer de la manière suivante la dépense d'établissement des différents ouvrages relatifs au service des voyageurs ; les prix ci-dessous sont des moyennes approximatives qui s'appliquent aux ouvrages terminés et en place.

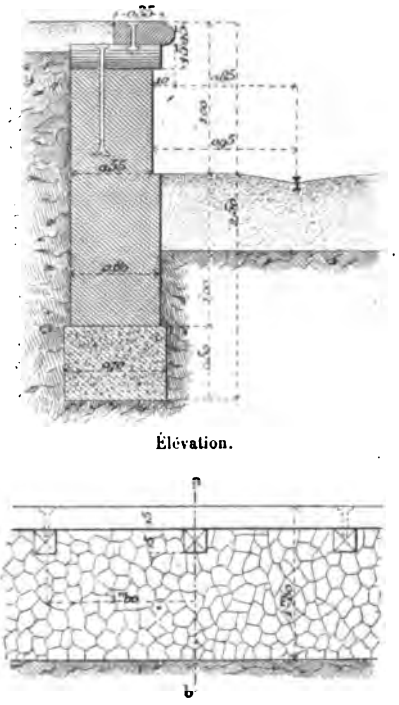
Bâtiment des voyageurs (sans étage), le mètre carré. .	140 fr.
— — (avec étage), — . .	230 —
Cabinets d'aisances, le siège	600 —
Urinoirs, la stalle.	75 —
Trottoirs, le mètre courant	25 —
Marquise adossée au bâtiment des voyageurs, le mètre carré	30 —
Empierrement des cours, le mètre carré.	2,50 fr. à 3 —

§ 2. — SERVICE DES MARCHANDISES

Les installations relatives au service des marchandises consistent essentiellement en quais découverts et en halles.

Quais découverts. — Les quais découverts ne sont autre chose que des terre-pleins compris entre deux murs verticaux. Généralement ils sont bordés d'un côté par une voie qui les rend accessibles aux wagons (fig. 350), de l'autre côté, ils donnent sur une cour par laquelle les voitures viennent les aborder. Dans les stations de transbordement on installe, comme nous l'avons dit, des quais bordés de voies de deux côtés.

Fig. 350. — Service des marchandises. Quai découvert $\left(\frac{1}{50}\right)$.



Élévation.

Coupe suivant *a b*.

La hauteur la plus généralement adoptée pour les quais est celle de 1 mètre au-dessus du rail; elle correspond à peu près au niveau de la plate-forme des wagons et rend, par conséquent, faciles les manipulations des marchandises.

Leur longueur varie suivant l'importance du trafic auquel ils sont destinés ; quant à leur largeur, elle varie également pour la même raison, mais dans des limites moins étendues. Dans les petites stations, elle est de 7 à 8 mètres; dans les grandes gares, elle atteint 15 et quelquefois 20 mètres.

Les quais découverts doivent être empierrés ou pavés, pour que la circulation y soit facile. En outre, on les raccorde avec le sol de la cour des marchandises par une rampe d'accès, à laquelle il convient de ne pas donner une inclinaison trop forte ; celle de 0, 05 m. par mètre est généralement adoptée.

Dans les petites stations, on dispose habituellement une partie du quai, de manière à permettre l'embarquement des voitures et des chevaux, qui doit se faire par le bout des wagons. A cet effet, on ménage dans le quai un retour d'équerre faisant face à la voie et on y dispose une cavité appelée *Cage à tampons* (fig. 351), dans laquelle les tampons de wagons viennent se loger, de manière que leur plate-forme puisse se placer tout contre le quai. On peut ainsi embarquer facilement les voitures et les chevaux.

Dans les grandes gares, on installe des quais spéciaux pour le même objet ; on peut les disposer comme l'indique la figure 352.

Halles. — Les halles à marchandises se construisent suivant deux types principaux, applicables le premier aux petites stations, le second aux gares importantes.

Dans les petites stations, on se contente de recouvrir une partie du quai au moyen d'un petit bâtiment (fig. 353) fermé des quatre côtés et dont

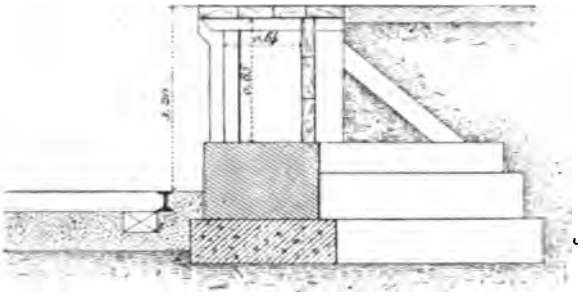


Fig. 351. — Cage à tampons $\left(\frac{1}{50}\right)$.

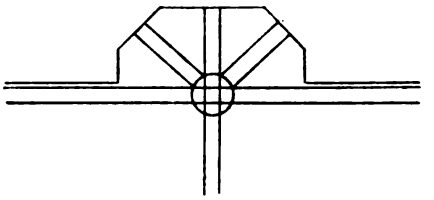
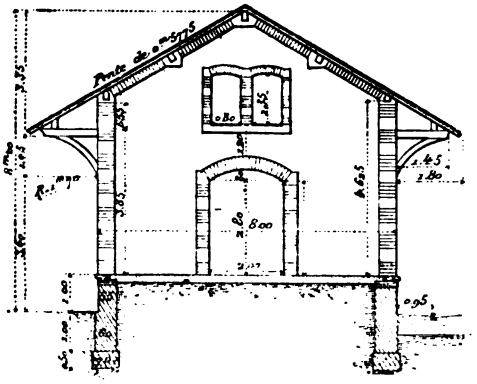


Fig. 352. — Quai d'embarquement des voitures et des chevaux. Gares principales.

le toit est prolongé par des auvents destinés à couvrir les wagons d'un côté, les voitures de l'autre. La largeur de ce bâtiment est la même que celle du quai ; sa longueur est proportionnée au trafic que la gare doit desservir. Il présente sur ses deux faces accessibles aux wagons et aux voitures

Élévation sur le quai.



Élévation latérale.

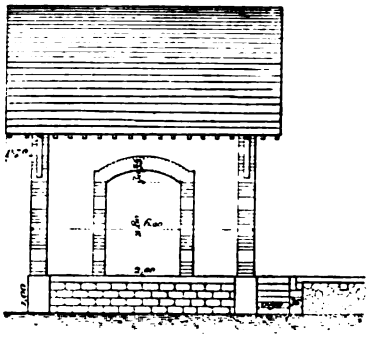


Fig. 353. — Halle à marchandises pour petite station. Réseau d'Orléans, ligne de Bretagne $\left(\frac{1}{200}\right)$.

un certain nombre de portes, fermées par des vantaux roulants, par lesquelles on charge et on décharge les wagons.

Telle est l'installation la plus simple pour les marchandises qui ont besoin d'être mises à l'abri ; les plus petites halles construites dans ce système n'ont pas moins de 6 à 7 mètres de longueur parallèlement aux voies.

Quand l'importance du trafic augmente, on peut ajouter une seconde halle à la suite de la première, de manière à avoir deux travées de même longueur formant un seul bâtiment. Si on adopte le chiffre de 7 mètres pour la longueur d'une travée de halle, la longueur des halles de différentes catégories sera toujours un multiple de 7.

Dans les gares importantes, la disposition qui précède ne serait pas com-

mode, parce qu'elle ne permet de charger ou de décharger qu'un wagon à la fois en face de chaque porte ; il faut dans les grandes gares, qu'on puisse charger à la fois des wagons sur toute la longueur de la halle et accoster en même temps cette halle du côté de la cour des marchandises sur tous les points à la fois.

Cette condition se réalise de la manière suivante : on place la voie qui dessert la halle à l'intérieur même de ce bâtiment, que l'on ferme complètement de ce côté par un mur ; du côté de la cour on ménage de larges baies, par lesquelles les voitures accostent la halle sur toute sa longueur.

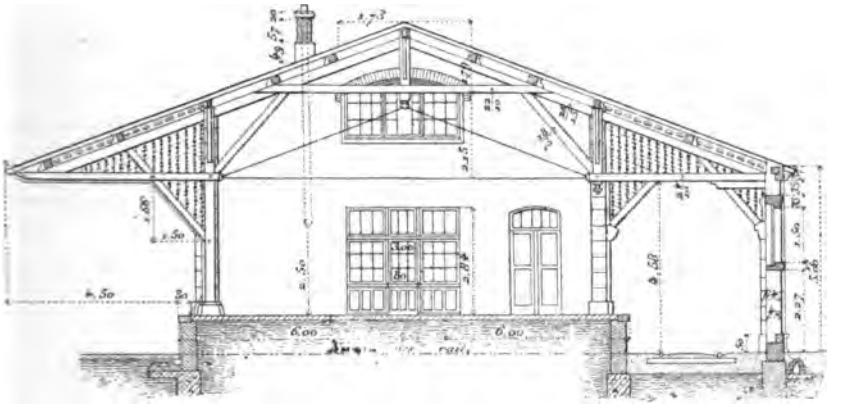


Fig. 354. — Halle à marchandises pour station importante. Réseau d'Orléans, ligne de Tours à Vierzon $\left(\frac{1}{20}\right)$.

La toiture du bâtiment recouvre alors à la fois le quai, les wagons et les camions.

Cette disposition est indiquée par la figure 354 qui représente un type de halle de la compagnie d'Orléans.

Le sol des halles à marchandises est formé d'une couche d'asphalte ou de ciment de 0,02 m. à 0,03 d'épaisseur, reposant sur une couche de béton de 0,10 m. à 0,15 m. d'épaisseur.

Surface a donner aux quais a marchandises. — La surface des quais destinés aux marchandises doit être proportionnée au tonnage de la gare ; voici comment on peut la déterminer, d'après M. Sévène.

L'espace occupé par une tonne de marchandises varie suivant sa nature. On compte généralement :

5 mètres carrés pour le coton ;
8 — pour les blés et les farines ;
5 — pour les vins ;
2 — pour les fers ;

ce qui donne une moyenne de 4 à 5 mètres carrés par tonne de marchandises.

Désignons par T le tonnage annuel de la gare, comprenant la somme des départs et des arrivées ; ce tonnage se répartit sur les 365 jours de l'année, mais d'une manière inégale, attendu qu'il y a des périodes où le mouvement de la gare est beaucoup plus accentué que dans d'autres ; par suite, le tonnage journalier se trouve, dans certains moments, bien supérieur à $\frac{T}{365}$. En outre, les marchandises restent souvent plus d'un jour dans la gare, surtout celles de l'arrivée, que le destinataire a la faculté de camionner lui-même.

Pour ces deux raisons M. Sévène admet que les quais à marchandises doivent être capables de contenir, à un moment donné, le centième du tonnage annuel, soit $\frac{T}{100}$, et, comme une tonne de marchandises occupe en moyenne une surface de 4 à 5 mètres carrés, il en résulte que la surface des quais doit être de 4 à 5 p. 100 du tonnage annuel.

D'après M. Bricka, cette proportion, qui correspond à un tonnage annuel de 20 à 25 tonnes par mètre carré, est un peu large ; on peut admettre, comme répondant à un service normal, un mouvement annuel de 25 à 35 tonnes par mètre carré ; dans les grandes gares, où le service de camionnage permet un enlèvement rapide des marchandises, on peut aller jusqu'à 50 tonnes et même davantage par mètre carré et par an.

La surface totale des quais doit d'ailleurs être répartie en quais couverts et halles dans une proportion qu'il n'est pas possible d'indiquer *a priori ;* elle dépend de la manière dont le tonnage total de la gare se partage en marchandises pouvant être laissées en plein air ou demandant à être abritées.

Dans le calcul du tonnage T, on ne doit faire entrer que les marchandises qui sont réellement manutentionnées sur les quais ; on ne doit pas, bien entendu, y comprendre celles qui passent directement de la voiture au wagon, c'est-à-dire celles qui sont chargées en vrac sur les voies de débord, ni celles qui sont transbordées de wagon à wagon.

Prix de revient. — On peut évaluer approximativement comme il suit les différents ouvrages relatifs au service des marchandises :

Halle couverte, le mètre carré	50 à 60 fr.
Quai découvert de 8 mètres de largeur, le mètre linéaire. . .	125 à 130 —

Batiments des stations a service restreint. — Ainsi que nous l'avons vu au chapitre précédent, les stations à service restreint peuvent être aménagées au moyen d'installations tout à fait rudimentaires et on a été conduit, dans certains cas, à adopter pour les bâtiments le type avec halle à marchandises accolée qu'on trouve fréquemment sur les petites lignes d'intérêt local.

Voici, à titre de document, la disposition adoptée sur la ligne de Châtellerault à Tournon, Saint-Martin, dont nous avons déjà parlé.

Le débarcadère a 11,70 m. de longueur sur 8 mètres de largeur; il est

Station à service restreint. Compagnie d'Orléans. Bâtiment des voyageurs.
(Échelle de 0m,005 par mètre.)

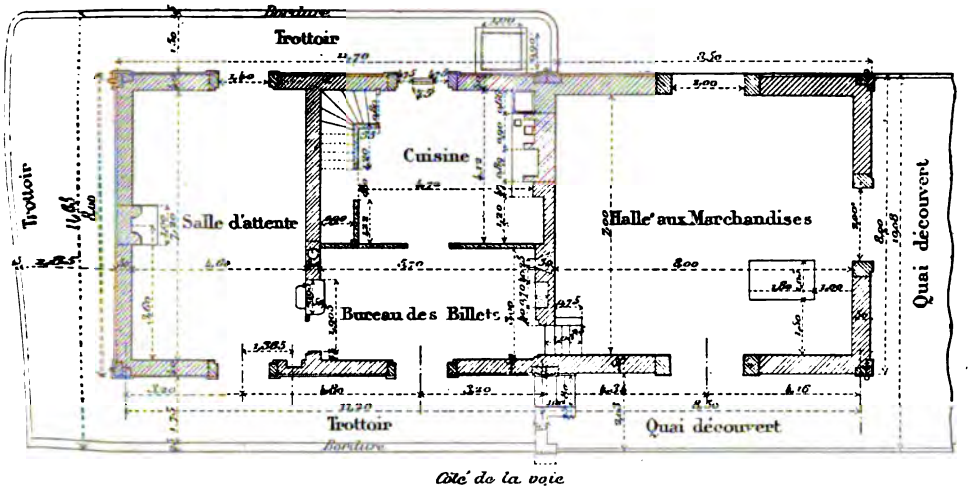


Fig. 355. — Plan du rez-de-chaussée.

à deux ouvertures. Ces dispositions sont représentées par les figures 355 à 357.

Le rez-de-chaussée comprend : pour le public, une salle d'attente unique;

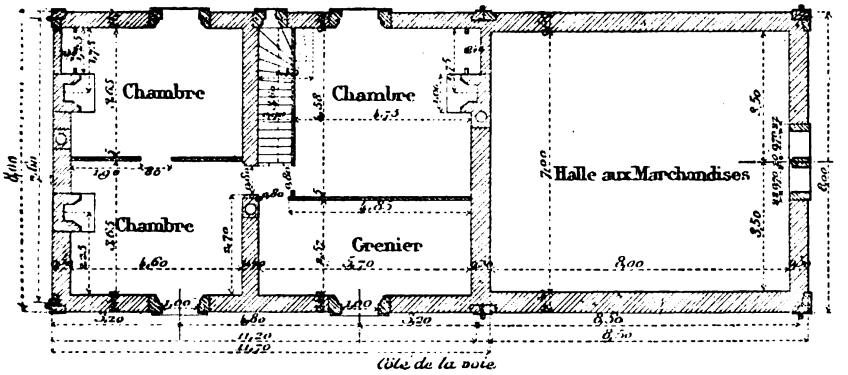


Fig. 356. — Plan du premier étage.

pour l'agent chargé du service, deux pièces, une salle à manger-cuisine, communiquant par une porte vitrée avec un bureau de distribution des billets.

L'étage unique comprend trois chambres à coucher et un grenier pouvant servir de chambre; ces pièces, de bonnes dimensions, forment un logement commode et facile à entretenir.

Ainsi, la pièce où se tient communément la femme-chef de station est au rez-de-chaussée et, quand cette femme est en relation avec le public, elle peut néanmoins surveiller, dans une certaine mesure, son ménage et ses enfants.

La halle aux marchandises (fig. 355 à 358) est accolée au débarcadère ;

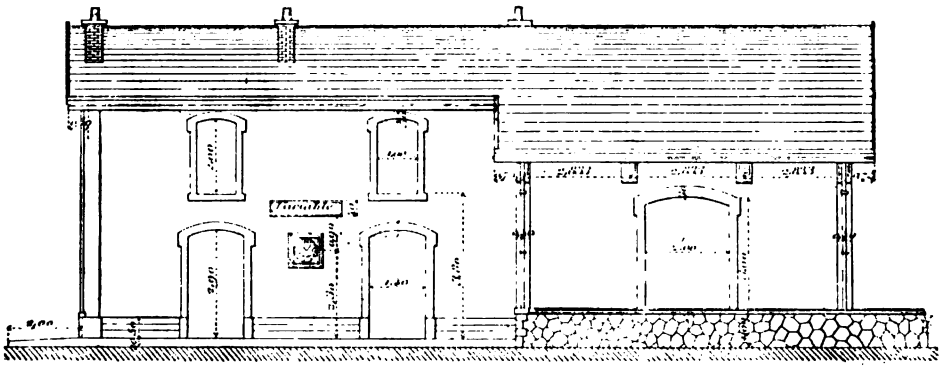


Fig. 357. — Élévation, côté de la voie.

elle est en communication directe avec le bureau des billets et un judas, ménagé à hauteur d'œil dans le mur de séparation, permet une surveillance facile.

Le dallage de la halle se prolonge du côté de la voie sur un quai de

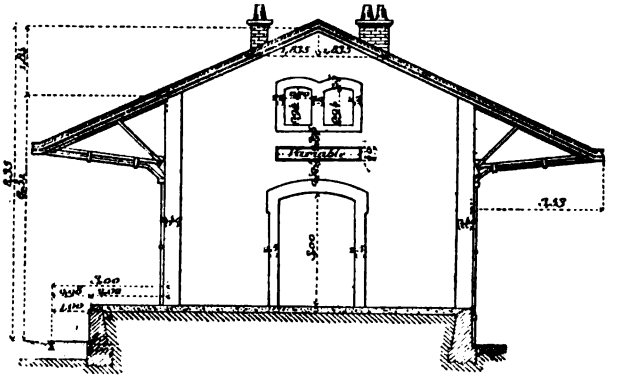


Fig. 358. — Élévation latérale, côté de la halle.

2 mètres de largeur, couvert par l'auvent de la couverture. Cette disposition permet d'établir devant le débarcadère un trottoir de 2 mètres de largeur et d'obtenir ainsi un espace de près de 3 mètres entre le débarcadère et le rail; elle remédie, dans une mesure à peu près complète, à l'inconvénient inhérent au type avec halle accolée, c'est-à-dire au danger qui peut résulter du passage de la voie des marchandises devant le bâtiment.

Le quai découvert a 10 mètres de largeur; sa longueur varie avec le trafic à desservir; dans la plupart des petites stations, une longueur de

20 mètres est bien suffisante. La bordure du quai est constituée au moyen de vieux rails fixés dans la maçonnerie au moyen de forts crampons.

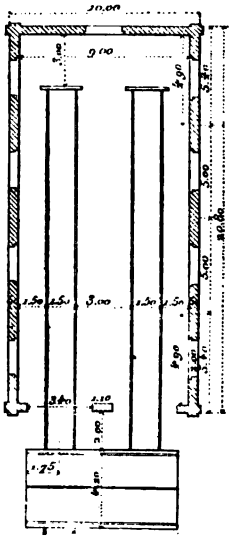
Le petit bâtiment isolé, construit aussi économiquement que possible, comprend d'un côté une pièce pouvant servir de lampisterie et de magasin, de l'autre des cabinets pour hommes et pour dames, et, sur la face opposée aux voies, des stalles d'urinoir. Il a 3,70 m. de longueur sur 2,40 m. de largeur.

Il est bon de remarquer que ce type de station, très économique, et qui offre l'avantage de concentrer le service, de rendre leur surveillance facile et de permettre la gestion par un seul agent, présente d'autre part, l'inconvénient de se prêter difficilement aux extensions ultérieures; ce serait donc une erreur de l'appliquer à des stations qui peuvent avoir quelque avenir. En outre, il y a, entre la grande et la petite vitesse, une promiscuité de cuves et d'installations qui n'est admissible pour le public que si le trafic est très faible.

§ 3. — SERVICE DE LA TRACTION

Les bâtiments relatifs au service de la traction sont ceux qui servent à mettre les voitures et les machines à l'abri des intempéries et à permettre de leur faire les réparations peu importantes que nécessite leur entretien ; ils consistent en *remises de voitures* et en *remises* ou *dépôts de machines*.

Plan.



Coupe transversale.

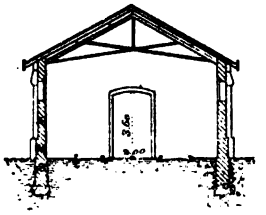


Fig. 359. — Remise pour 4 voitures. Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{100}\right)$.

Remises de voitures. — Pour remiser les voitures, il suffit de placer sous un hangar un certain nombre de voies parallèles, réunies à leur sortie du bâtiment par un chariot roulant, comme l'indique la figure 359 qui représente une remise pour 4 voitures.

Pour abriter 8 voitures, il suffirait de doubler cette installation et pour en abriter 12, de la tripler, et ainsi de suite.

Ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, les remises de voitures sont de moins en moins employées sur les chemins de fer ; on se contente le plus souvent de parcs à voitures, c'est-à-dire de voies non couvertes.

Remises de machines. — Les grands dépôts de machines se font, ainsi

que nous l'avons dit, dans les gares principales, dont l'espacement (100 à 150 kilomètres) convient très bien à un relais de locomotives. Mais indépendamment de ces grands dépôts, il faut aussi avoir, en des points intermédiaires, des installations permettant de remiser 2, 4 ou 6 machines, par exemple :

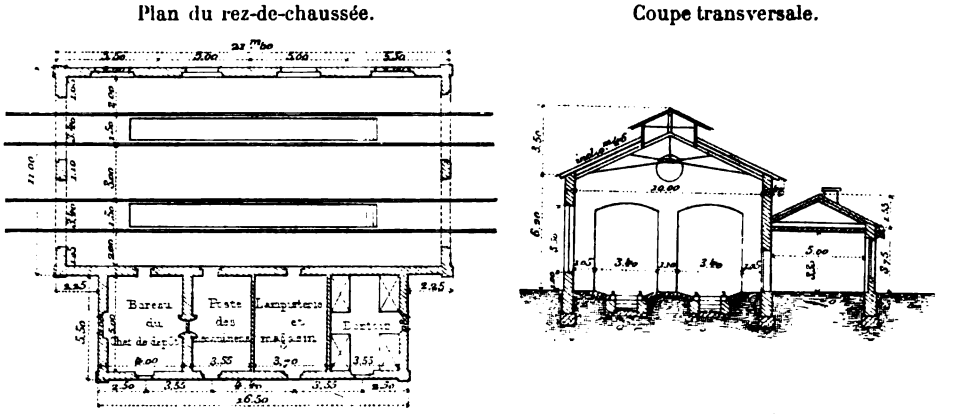


Fig. 360. — Remise pour deux locomotives. Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{400}\right)$.

les machines de secours que l'on tient toujours en feu pour venir en aide aux trains en détresse, les machines de travaux, auxquelles on ne peut pas faire

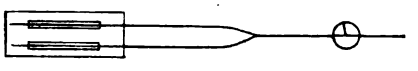


Fig. 361. — Remisage de deux locomotives.

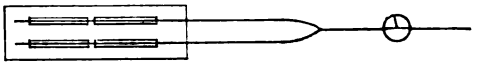


Fig. 362. — Remisage de quatre locomotives.

regagner le soir les grands dépôts, sous peine de leur faire perdre trop de temps, les machines des trains de localité, qui ont leur tête ailleurs que dans les grandes gares.

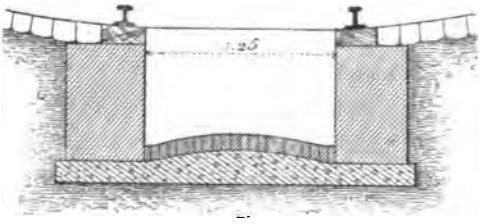


Fig. 363. — Fosse à piquer le feu. Coupe transversale $\left(\frac{1}{50}\right)$.

Les petits dépôts se placent habituellement dans les stations de moyenne importance.

La figure 360 représente une remise pour deux locomotives. Elle comporte deux voies placées sous un hangar, avec une annexe pour le chef du dépôt et les mécaniciens.

A l'extérieur de la remise, les deux voies sont réunies par une aiguille

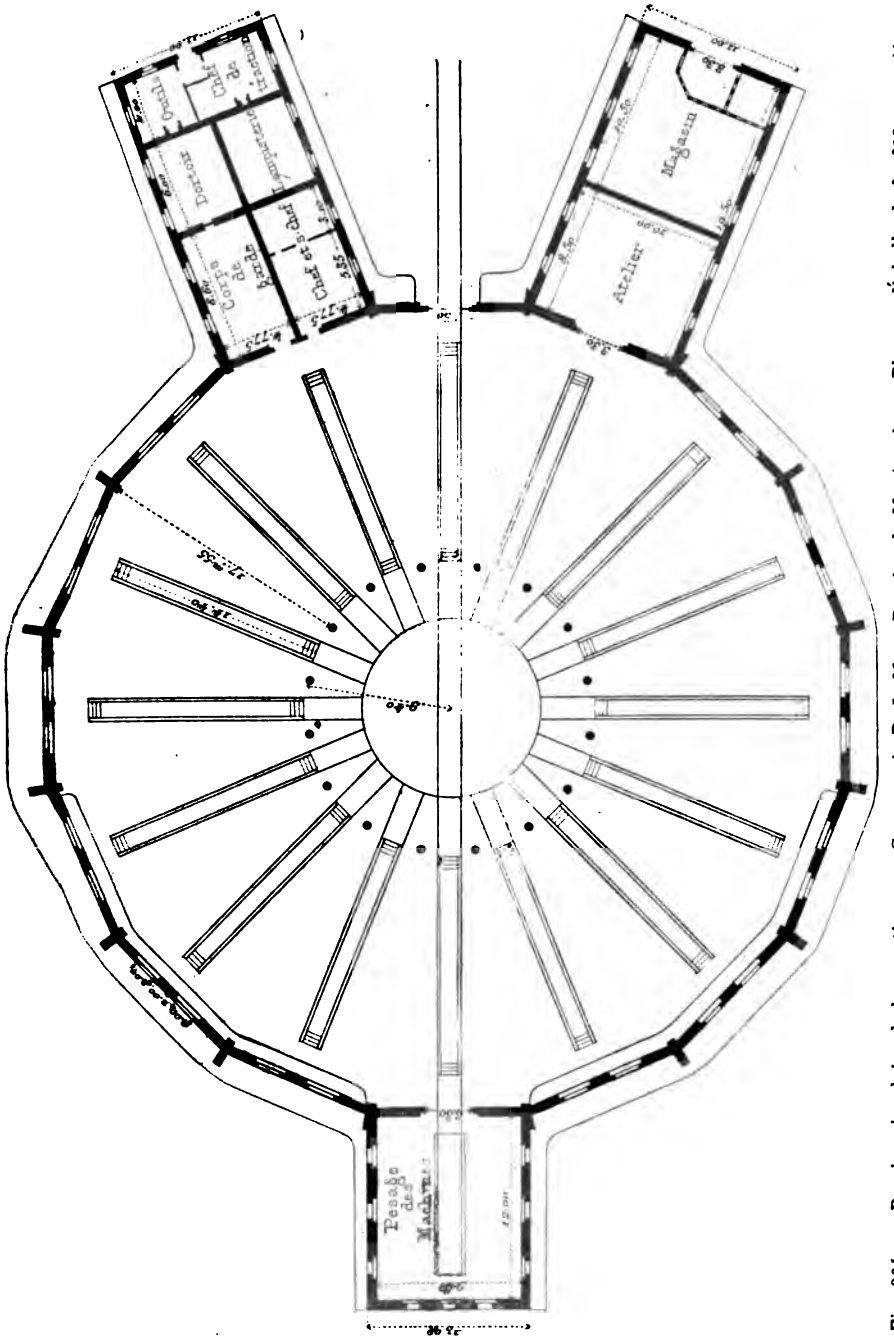


Fig. 364. — Remise circulaire de locomotives. — Compagnie P.-L.-M. — Remise de Montargis. — Plan. — Échelle de 0m,002 par mètre.

et on place sur le tronc commun une plaque tournante pour permettre le retournement des machines (fig. 361).

Quand on a à loger quatre locomotives au lieu de deux, on conserve les deux voies et on prolonge le bâtiment (fig. 362).

Pour six locomotives, on mettrait trois voies en conservant la même longueur que pour quatre.

Dans toutes les remises, chaque machine repose sur une fosse en maçonnerie qui permet de la visiter en dessous, et dans laquelle le mécanicien peut vider son cendrier et son feu, sans risque d'incendie. Comme ces fosses

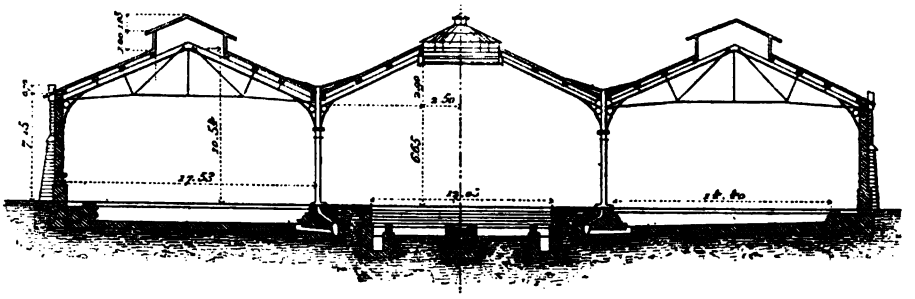


Fig. 365. — Remise de Montargis. — Coupe transversale. — Échelle de 0m,002 par mètre.

se placent aussi dans les gares, aux endroits où les machines s'arrêtent, pour permettre au mécanicien de nettoyer sa grille et son cendrier, on les appelle généralement des *fosses à piquer le feu.*

Elles se composent (fig. 363) de deux murs sur lesquels sont placées des longrines qui supportent les rails; le fond, qui est formé d'un pavage maçonné ou de briques sur champ, est convexe afin que les eaux ne séjournent jamais en son milieu. On lui donne en outre, dans le sens longitudinal, une pente de 0,01 m. par mètre, qui permet d'emmener les eaux en dehors de la fosse, en la faisant communiquer avec l'égout collecteur de la station.

Les fosses à piquer ont une longueur à peu près égale à celle des locomotives, 1 mètre environ de profondeur à leur partie la plus creuse et une largeur de 1,25 m.

Les installations des petites remises de machines sont fort simples, comme on le voit ; mais elles ne seraient pas applicables à de grands dépôts, dans lesquels il faut que les machines soient concentrées dans le plus petit espace possible et puissent, par une manœuvre simple, entrer pour prendre leur place dans la remise ou sortir pour faire leur service.

Les grandes remises employées dans ce but peuvent se ramener à trois types principaux, qui sont :

La rotonde ;

La demi-lune ;

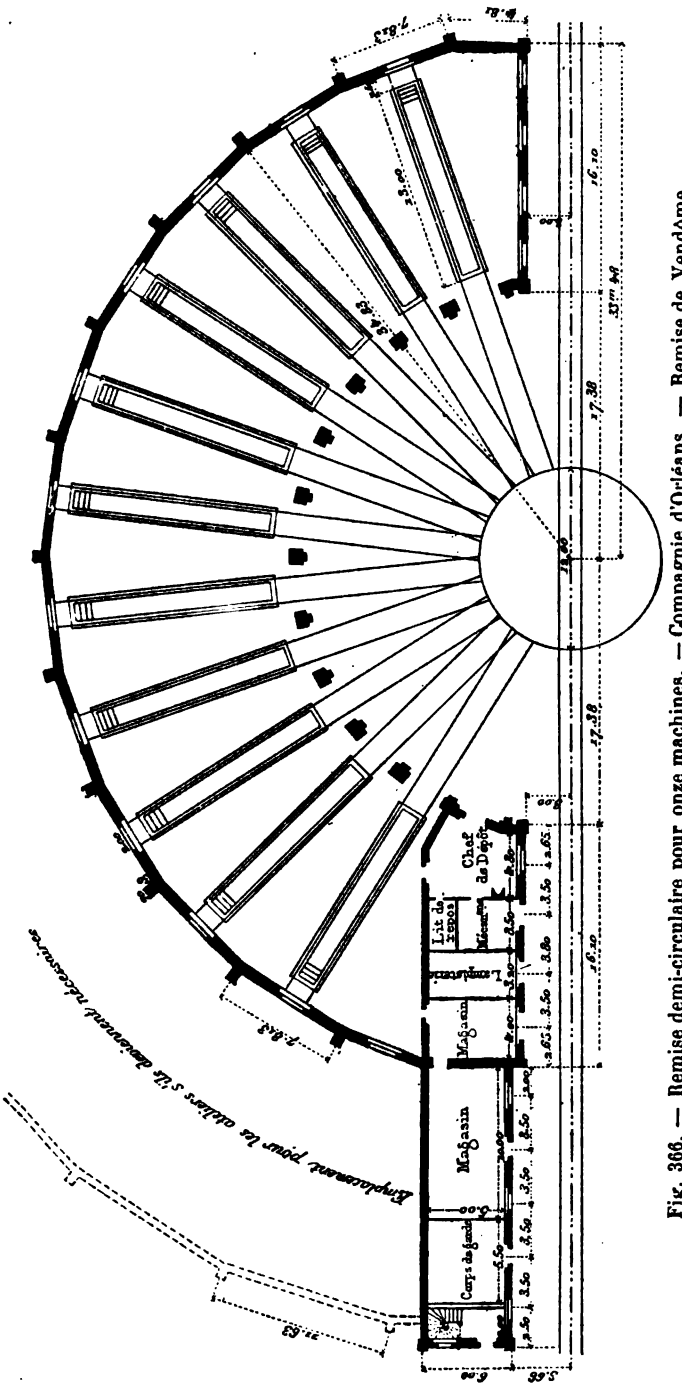


Fig. 366. — Remise demi-circulaire pour onze machines. — Compagnie d'Orléans. — Remise de Vendôme. Plan. — Echelle de 0m,002 par mètre.

La remise rectangulaire.

Les figures 364 et 365 représentent une remise du premier type. Les machines y sont garées dans la partie annulaire et leur manœuvre se fait au moyen d'une grande plaque tournante située dans la partie centrale de la rotonde. Le tout est couvert par des hangars.

Dans les remises du deuxième type (fig. 366 et 367 , c'est la partie annulaire qui est seule couverte ; la plaque tournante sur laquelle se fait la manœuvre et les voies qui la réunissent à la remise sont situées en plein air.

Enfin, dans le troisième type (fig. 368 et 369), les machines sont rangées sur les deux grands côtés d'un bâtiment rectangulaire et un grand chariot à

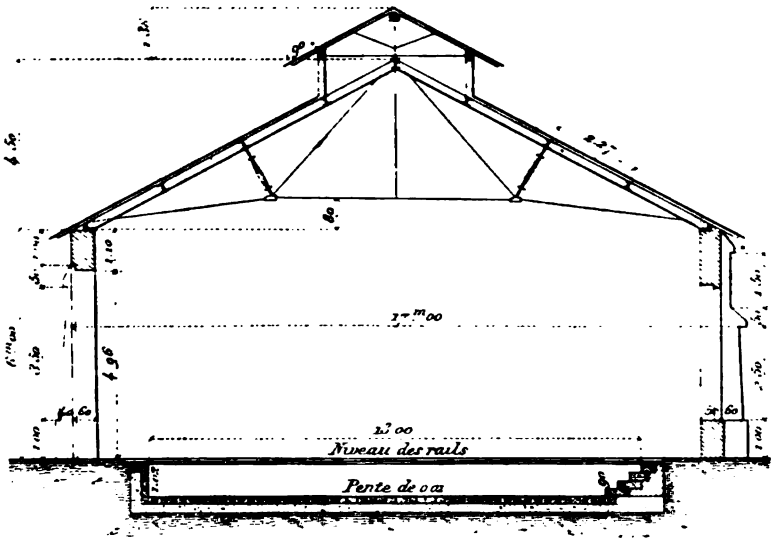


Fig. 367. — Remise de Vendôme. — Coupe transversale. — Échelle de 0m,005 par mètre.

vapeur, qui parcourt toute la longueur de la remise, sert à les amener à la place qu'elles doivent occuper.

Dans chacun de ces systèmes, toutes les machines reposent sur une fosse à piquer, comme dans les petites remises ; autant de fosses, autant de machines. C'est habituellement par le nombre des fosses que l'on indique la capacité d'un dépôt.

Le premier type de remise, dans lequel tout est couvert, les fosses et la plaque tournante, convient très bien au point de vue du service ; la surveillance en est commode ; il se chauffe facilement en hiver. Mais il a l'inconvénient d'être fort coûteux, lorsque le nombre des machines devient un peu considérable ; en effet, à cause de l'intervalle (4,50 m. à 5 mètres) qu'il faut nécessairement avoir d'axe en axe des voies sur la circonférence intérieure, la longueur de celle-ci augmente rapidement à mesure que le nombre des

machines à loger devient plus grand, et il arrive bientôt que la surface couverte inutilisée, qui est comprise dans cette circonférence, prend une valeur notable par rapport à la surface couverte totale, ce qui augmente beaucoup

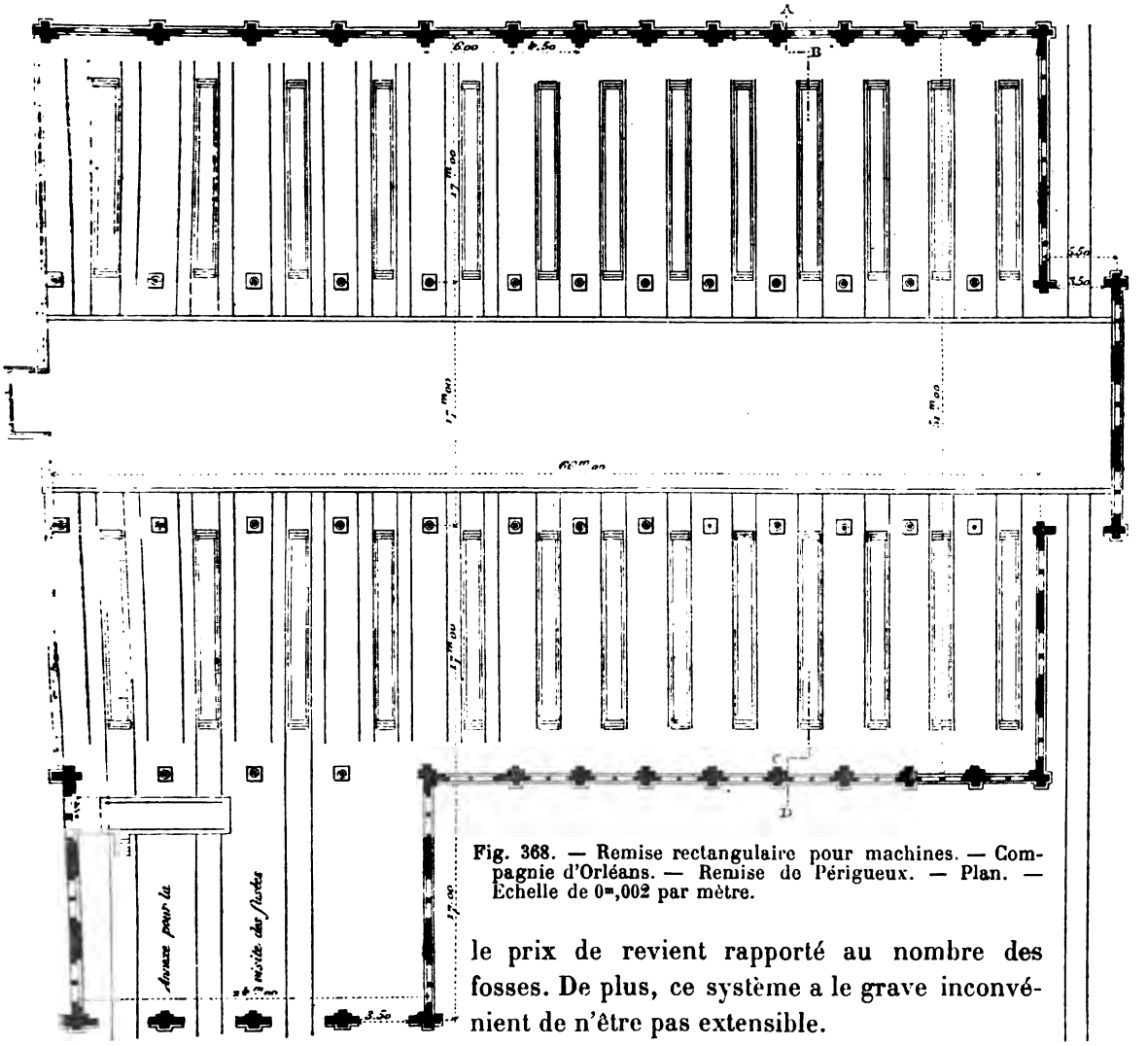


Fig. 368. — Remise rectangulaire pour machines. — Compagnie d'Orléans. — Remise de Périgueux. — Plan. — Échelle de 0m,002 par mètre.

le prix de revient rapporté au nombre des fosses. De plus, ce système a le grave inconvénient de n'être pas extensible.

Les remises du second type, au contraire, peuvent se fractionner et, par suite, donnent toute facilité au point de vue de l'extension ultérieure. Elles ont l'inconvénient d'être fort difficiles à chauffer, à cause des nombreuses baies qu'elles présentent sur leur circonférence intérieure; elles sont, en outre, moins faciles à surveiller que les rotondes. De plus, la plaque tournante étant constamment exposée aux intempéries est d'un entretien plus coûteux. Enfin les voies qui joignent les fosses à la plaque tournante doivent nécessairement se croiser quand le nombre des machines à remiser est un peu grand; il y a là une cause d'augmentation de dépense dans la fourniture du maté-

riel des voies, qui peut devenir considérable quand le nombre des fosses est un peu élevé. Supposons, par exemple, une plaque de 12 mètres de diamètre et 18 fosses ; la demi-circonférence de la plaque aura 18 mètres de longueur et, pour y placer 18 voies de 1,50 m., il faudra nécessairement que les files de rails se croisent ; il aura ainsi 18 croisements. Si la remise était de 36 fosses, il y aurait 72 croisements.

Les remises rectangulaires ne s'employaient autrefois que pour les petits dépôts intermédiaires dont nous avons parlé plus haut ; on les établit maintenant pour abriter un très grand nombre de machines. Elles ont l'inconvénient d'être assez dispendieuses, attendu que le chariot à vapeur qui les

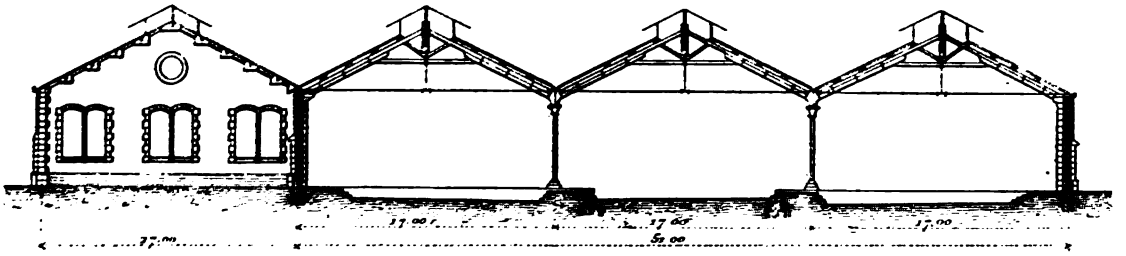


Fig. 369. — Remise de Périgueux.
Coupe suivant ABCD. — Échelle de 0m.002 par mètre.

dessert y occupe une surface considérable par rapport à la surface totale. Mais, d'un autre côté, elles sont extrêmement commodes pour le service ; elles se chauffent bien et présentent toute facilité pour une extension ultérieure.

Ce système convient surtout pour les dépôts très importants, attendu que le chariot à vapeur dont il exige l'emploi est un appareil fort coûteux, dont la présence n'est justifiée que dans les grandes gares.

En somme, chacun des trois systèmes a ses avantages et ses inconvénients ; le second nous paraît pouvoir être appliqué pour les dépôts d'importance moyenne, lorsque le nombre des fosses ne conduit pas à un trop grand nombre de croisements dans les voies. Le premier système permet de loger un plus grand nombre de machines ; ainsi la compagnie P.-L.-M. et celle de l'Est emploient des remises circulaires, dont la rotonde centrale a un diamètre de 40 à 50 mètres, dont le bâtiment annulaire a 20 mètres de largeur et qui permettent de loger une soixantaine de machines. Quand on veut aller au delà de ce chiffre, il faut avoir recours à la remise rectangulaire, qui permet d'abriter autant de machines que l'on veut. La compagnie du Nord a établi à son dépôt de la Chapelle une remise rectangulaire pour 65 machines, qui peut au besoin en contenir bien davantage, au moyen d'une extension facile à réaliser.

Quel que soit le système que l'on adopte pour la remise, elle doit être

pourvue d'un atelier qui permette de faire les réparations courantes de l'entretien ; elle doit avoir aussi un bâtiment annexe, dans lequel on installe les bureaux pour le chef et les sous-chefs du dépôt ; un magasin contenant les approvisionnements nécessaires au service des machines ; un corps de garde où les mécaniciens viennent s'abriter et prendre leurs repas, et un dortoir dans lequel ils peuvent passer la nuit.

La dépense d'établissement des dépôts de machines se mesure d'après le nombre des fosses qu'ils contiennent ; on compte généralement 10 000 francs par fosse pour la remise proprement dite. A cette dépense, il faut ajouter celle qui correspond aux voies, à la plaque tournante ou au chariot, aux bureaux et à toutes les annexes.

Prix de revient. — Nous indiquons ci-dessous les prix approximatifs des différents ouvrages du service de la traction :

Remise de voitures, le mètre carré.	40 fr.
Remise pour deux machines avec annexe	16 000 —
Fosse à piquer le feu, le mètre linéaire.	60 —

CHAPITRE III

ALIMENTATION DES MACHINES

Alimentation en charbon. — Quais à combustibles. — Alimentation en eau. — Conditions à remplir. — Prise d'eau. — Qualité de l'eau à employer. — Essai hydrométrique. — Purification de l'eau. — Désincrustants. — Installation d'une prise d'eau. — Bâtiment de la machine fixe. — Conduite de refoulement. — Détermination du diamètre de la conduite. — Règle pratique. — Réservoir. — Distribution. — Grue hydraulique. — Grue-réservoir. — Prix de revient des prises d'eau. — Emploi du moulin à vent comme machine fixe. — Alimentation en route. — Tender américain.

Les locomotives, quand elles quittent le dépôt, emportent avec elles l'approvisionnement d'eau et de charbon, sans lequel leur marche serait impossible ; cet approvisionnement est porté par un véhicule spécial, appelé *Tender*, qui est attelé immédiatement derrière elles. La capacité du tender étant limitée, il est nécessaire qu'elles trouvent, en certains points de leur parcours, les moyens de renouveler leur provision.

ALIMENTATION EN CHARBON. — En ce qui concerne le charbon, rien n'est plus simple ; on installe dans le voisinage des dépôts des quais spéciaux à combustibles, qui longent la voie des machines, et qui peuvent être disposés comme l'indique la figure 370. A gauche se trouve la voie par laquelle les wagons amènent le charbon ; à droite est la voie de circulation des machines, avec une fosse à piquer le feu ; de l'autre côté de cette voie est établi l'appareil de prise d'eau, dont nous parlerons tout à l'heure. La plate-forme du quai doit être pavée ou bitumée et présenter deux étages ; elle est plus basse du côté des wagons à charbon, pour en faciliter le déchargement et plus haute du côté de la voie des machines, pour rendre plus commode le chargement des tenders.

Quelquefois, les installations du quai à combustibles sont beaucoup plus simples et se réduisent à une estacade en charpente bordée par les voies.

Dans les deux cas, on voit que le charbon se trouve abandonné en plein air ; ce système peut avoir des inconvénients, surtout avec l'emploi de certaines qualités de houille qui se désagrègent au contact de l'air. En Allemagne

on préfère abriter le combustible sous des hangars couverts ; c'est une très bonne méthode au point de vue de la conservation du charbon, mais elle est coûteuse et ne s'emploie pas en France.

ALIMENTATION EN EAU. — La capacité des tenders en combustibles est toujours assez grande pour que les machines puissent aller jusqu'au plus prochain dépôt où elles doivent se remiser, avant d'avoir épuisé leur provision de charbon. Il n'en est pas de même de la provision d'eau. En effet, la consommation d'eau est à peu près de 40 litres par mètre carré de surface de chauffe et par heure, ce qui, pour une machine à marchandises, ayant

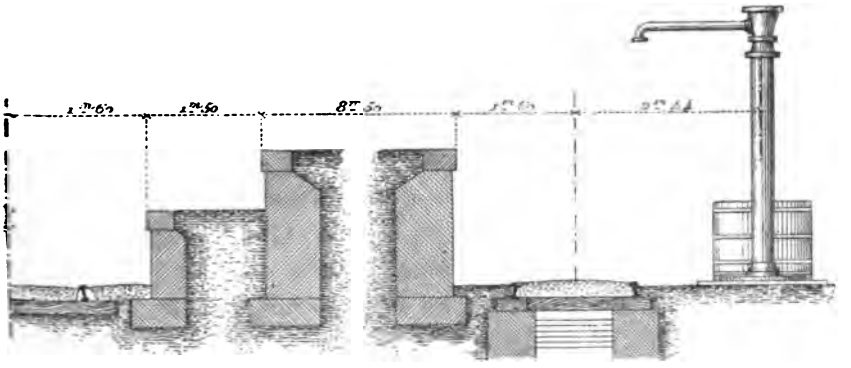


Fig. 370. — Quai à combustible. — Compagnie P.-L.-M. $\left(\frac{1}{100}\right)$.

130 mètres carrés de surface de chauffe donnerait une consommation d'environ 5200 litres à l'heure ; la capacité de la caisse à eau des tenders ne dépasse guère 6 à 8 mètres cubes pour beaucoup de machines à marchandises. Comme il ne serait pas prudent d'épuiser complètement cet approvisionnement en marche normale, on conclut des chiffres ci-dessus que les trains de marchandises doivent pouvoir renouveler leur eau à peu près toutes les heures. La vitesse de ces trains étant habituellement réglée à 25 kilomètres à l'heure, ces considérations conduisent à admettre que l'espacement des prises d'eau doit être de 25 kilomètres environ.

Sur les lignes qui présentent des déclivités exceptionnelles, cette distance doit même être réduite, parce que les trains y marchent avec une vitesse qui peut descendre jusqu'à 16 ou 18 kilomètres.

En somme, en tenant compte de ce que les prises d'eau se placent toujours dans les stations, on arrive à formuler cette règle :

Pour les lignes à déclivités ordinaires, l'espacement des stations de prise d'eau ne doit pas dépasser 25 à 30 kilomètres ; pour les lignes à déclivités exceptionnelles il ne doit pas être supérieur à 20 kilomètres.

INSTALLATION D'UNE ALIMENTATION D'EAU. — Pour assurer l'alimentation en

eau des machines, on installe, dans les stations choisies à cet effet, un réservoir dans lequel l'eau, prise dans une rivière ou une source voisines, est amenée, au moyen d'une conduite de refoulement et d'où elle est ensuite emmenée, au moyen d'une conduite de distribution, jusqu'à une grue hydraulique qui sert à remplir les tenders. Une alimentation comporte donc quatre parties que nous étudierons successivement savoir :

La prise d'eau ;
La conduite de refoulement ;
Le réservoir ;
La distribution.

Prise d'eau. — La première condition à remplir, dans le choix de la prise d'eau, c'est qu'elle ait un débit suffisant pendant toute l'année, même par les plus grandes sécheresses ; il faut donc s'adresser de préférence aux rivières, aux ruisseaux qui ne sont jamais à sec. A défaut de ruisseaux, dont l'éloignement pourrait conduire à une trop grande dépense, il faut avoir recours à des sources dont le débit d'été ait été bien constaté, ou même à des puits qui soient capables de fournir la quantité d'eau dont on a besoin. Mais il ne faut pas se dissimuler que l'emploi de ce dernier moyen donne souvent de graves mécomptes. Il n'est pas rare de voir des puits, qui pendant longtemps avaient fourni de l'eau en abondance, se tarir tout à coup sous l'influence de causes inconnues ; on est obligé alors ou de creuser un autre puits, ou de déplacer la prise d'eau pour la reporter auprès d'un ruisseau. Cette solution est toujours la meilleure, quand l'éloignement du cours d'eau ne la rend pas trop dispendieuse.

Il faut, en outre, et cette condition est également très importante, que l'eau destinée à l'alimentation des machines soit assez pure et ne contienne pas en dissolution une trop grande quantité de matières solides.

L'eau pure, composée d'oxygène et d'hydrogène, ne se rencontre pas dans la nature ; elle contient toujours, en plus ou moins grande proportion, des substances salines qu'elle dissout en les empruntant aux terrains qu'elle traverse. Ces matières sont principalement le carbonate de chaux, qui se dissout dans l'eau à la faveur du gaz acide carbonique qu'elle contient toujours, le sulfate de chaux, qui se rencontre moins souvent, mais dont la présence est bien plus fâcheuse que celle du carbonate et constitue les eaux dites séléniteuses, le chlorure de sodium, différents sels de potasse et de soude et une foule d'autres matières, dont l'influence est très faible au point de vue de l'alimentation des machines. Quand une eau contient une forte proportion de matières solides, celles-ci se précipitent par l'ébullition et forment sur les parois des chaudières des dépôts adhérents ou *incrustations*, qui sont extrêmement nuisibles, parce qu'ils empêchent la vaporisation de l'eau

en diminuant la transmission de la chaleur, et surtout parce qu'ils amènent la détérioration du métal, quand on n'a pas la précaution de les détruire.

Il faut donc se rendre compte avec le plus grand soin de la qualité des eaux, avant de s'en servir pour l'alimentation des machines. Une eau qui donne à l'évaporation 250 à 300 grammes de résidus solides par mètre cube doit être réputée mauvaise, surtout si les résidus sont en majeure partie composés de sulfate de chaux. Les matières argileuses que l'eau contient quelquefois en suspension ne donnent pas d'incrustations ; elles ont seulement l'inconvénient d'encrasser la pompe qui sert à élever l'eau.

Pour se rendre compte de la qualité des eaux, on peut en faire une analyse sommaire de la manière suivante : on fait bouillir, pendant plusieurs heures, quelques litres d'eau qu'on a d'abord filtrée. Les carbonates de chaux et de magnésie se précipitent ; on les recueille et on les pèse sur un filtre. En versant ensuite dans l'eau quelques gouttes d'oxalate d'ammoniaque, on précipite la chaux qui se trouve dans l'eau à l'état de sulfate de chaux. On peut donc avoir ainsi, d'une manière suffisamment exacte, la quantité de carbonate de chaux, de carbonate de magnésie et de sulfate de chaux en dissolution dans l'eau ; et ce sont là les trois seules matières qui incrustent les chaudières.

On peut aussi employer l'hydrotimètre, appareil qui sert à mesurer la crudité de l'eau, et qui est fondé sur le principe suivant.

Une dissolution de savon dans l'alcool produit, quand on la verse dans une eau pure, une mousse persistante ; au contraire, quand l'eau est chargée de sels terreux (calcaires ou magnésiens), cette mousse ne se produit qu'après la neutralisation de ces sels par une proportion équivalente de savon.

L'essai hydrotimétrique, imaginé par MM. Boutron et Boudet, se fait de la manière suivante : On se sert d'une burette graduée ou hydrotimètre, dans laquelle on introduit la liqueur titrée, dissolution de savon dans l'alcool. Chacun des degrés de l'hydrotimètre représente 0,1 gr. de savon neutralisé par un litre d'eau soumise à l'expérience et correspond à 1 centigramme de carbonate de chaux contenu dans la même quantité d'eau. Cela posé, on met dans un flacon 40 centimètres cubes de l'eau à essayer et on y verse peu à peu la liqueur titrée, en agitant le mélange jusqu'à ce qu'il se produise à la surface une mousse persistante. A ce moment, on lit sur l'hydrotimètre le numéro de la division à laquelle la liqueur est descendue ; soit 20 ce numéro : c'est le degré hydrotimétrique de l'eau essayée. On en conclut que cette eau contient 20 centigrammes de calcaire par litre.

Les indications données par l'hydrotimètre ne sont pas toujours rigoureusement exactes, car la présence de certains corps, tels que les sulfures et les substances organiques, altère quelquefois les résultats. Toutefois, elles sont fort utiles et très précieuses dans la plupart des cas.

Quel que soit le procédé qu'on emploie pour se rendre compte de la pureté des eaux, si elles donnent à l'évaporation 250 à 300 grammes de résidus solides par mètre cube, ou si elles marquent plus de 25° à l'hydrotimètre, elles doivent être considérées comme impropres à l'alimentation des machines. Il faut, dans ce cas, ou changer la position de la prise d'eau ou trouver un moyen d'épuration.

Quand l'eau contient principalement du bicarbonate de chaux, on la purifie facilement et à peu de frais au moyen d'un lait de chaux, qui transforme le bicarbonate soluble en carbonate insoluble ; ce dernier sel se précipite, on laisse déposer et on décante. Ce procédé est employé à la compagnie du Nord, où les eaux de certains dépôts marquant 32° à l'hydrotimètre, sont purifiées et arrivent à ne plus marquer que 9° par l'emploi de 25 à 35 kilogrammes de chaux pour 100 mètres cubes d'eau. Au réseau de l'État, à Aigrefeuille, près Rochefort, on opère d'une manière analogue et l'eau, marquant 23° à l'hydrotimètre, ne marque plus que 6° après l'opération.

Quand l'eau contient du sulfate de chaux, qui est le composé le plus nuisible, on peut encore l'épurer par l'addition de carbonate de soude, qui décompose le sulfate de chaux dissous, d'où résulte un précipité de carbonate de chaux. Mais le réactif employé coûte assez cher, ce qui rend le procédé un peu plus coûteux.

L'opération chimique des eaux s'effectue soit par des appareils intermittents, exigeant la présence constante d'un ouvrier pour la manœuvre, soit par des appareils continus et automatiques, mais dont le prix d'installation est plus élevé.

On a aussi essayé de remplacer les procédés d'épuration par l'emploi de substances dites *désincrustantes*, qu'on introduit dans les chaudières au moment de leur nettoyage. Ces substances sont très nombreuses ; malheureusement aucune d'elles n'est complètement efficace dans tous les cas. Les unes, comme la sciure de bois, les détritus de bois de teinture, agissent mécaniquement en produisant dans l'eau une agitation continuelle qui divise les dépôts. Les autres, telles que les compositions alcalines de soude et de potasse, plus ou moins mélangées avec les acides tannique, chlorhydrique, etc., exercent une action chimique sur les matières en dissolution dans l'eau.

On emploie depuis plusieurs années sur le réseau de l'État, comme désincrustant, l'aluminate de baryum en dissolution, à 5 p. 100 environ, que l'on introduit dans le tender en proportion variable suivant la composition des eaux.

Ce sel transforme les sels (sulfate et carbonate) de chaux et de magnésie que contiennent les eaux en sulfate et carbonate de baryte insolubles et donne naissance à des aluminates de chaux et de magnésie également insolubles.

Il se forme ainsi des boues pesantes et non adhérentes aux parois de la chaudière, que l'on évacue par des extractions et au moment du lavage. Ce procédé a donné jusqu'à présent de très bons résultats; on constate même que le tartre déjà formé antérieurement se détache des parois de la chaudière sous l'action de l'aluminate.

Enfin, on signale l'emploi récent sur un certain nombre de lignes des États-Unis de l'Amérique du Nord d'un procédé nouveau, dit procédé *Talmage*, qui consiste à introduire dans les chaudières utilisant de l'eau non épurée une faible quantité d'une huile spéciale assez volatile, appelée *rubra oil*. La présence de cette huile empêche l'incrustation de se produire et les dépôts restent boueux sans adhérer aux tôles ni à la tubulure. L'huile est introduite dans la chaudière au moyen d'un graisseur à goutte visible identique à ceux que l'on emploie pour le graissage du mécanisme. La quantité d'huile employée varie de 10 à 20 centimètres cubes par kilomètre parcouru. Les résultats obtenus sont paraît-il, extrêmement satisfaisants [1]. Le réseau de l'État met à l'essai ce procédé sur quelques machines.

Quand on a choisi, en tenant compte des considérations qui précèdent, l'emplacement de la prise d'eau, on y installe le bâtiment de la machine fixe (*fig.* 371), dans lequel on établit une machine à vapeur qui fait mouvoir une

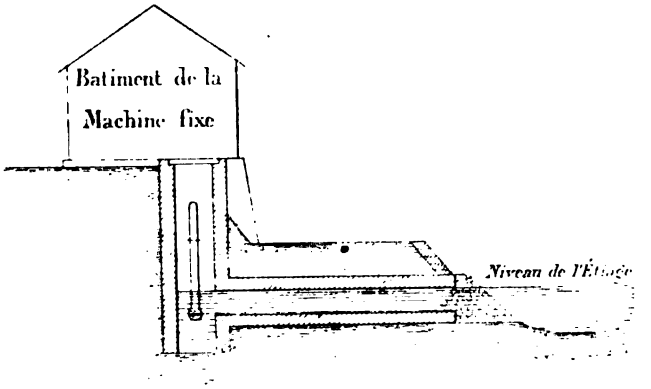


Fig. 371. — Alimentation d'eau. — Installation de la prise d'eau.

pompe aspirante et foulante. Cette pompe aspire l'eau dans un puisard, qu'on fait communiquer par un aqueduc avec la rivière et elle l'envoie dans la conduite de refoulement. Il faut avoir soin de terminer la partie inférieure du tuyau d'aspiration par une pomme d'arrosoir, de manière à empêcher les matières étrangères de s'introduire dans le tuyau et de là dans la pompe.

Nous représentons, à titre d'exemple, figures 372 à 377, les dispositions du bâtiment de la machine fixe d'une prise d'eau de la compagnie d'Orléans

[1] Rapport de mission de M. Marcel Japiot, Ingénieur des Mines (1907).

ALIMENTATION. — CHEMIN DE FER D'ORLÉANS A GIEN
BATIMENT DE LA MACHINE FIXE

Échelle de 0m,005 par mètre. Détails $\left(\frac{1}{100}\right)$.

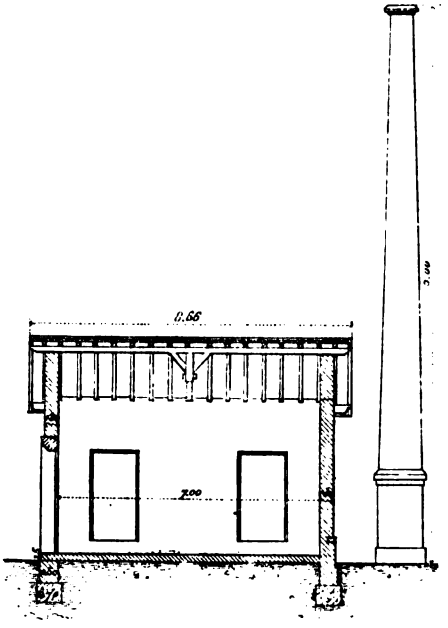


Fig. 374. — Coupe suivant AB.

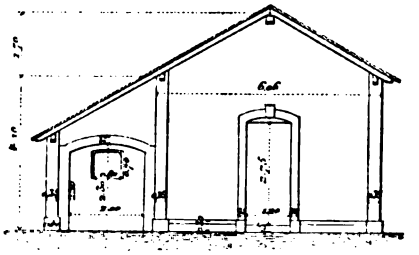


Fig. 372. — Élévation.

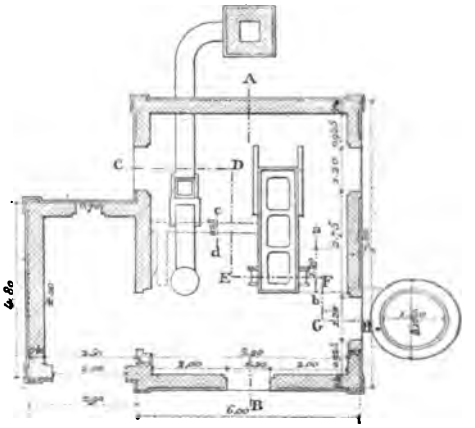


Fig. 373. — Plan.

DÉTAILS

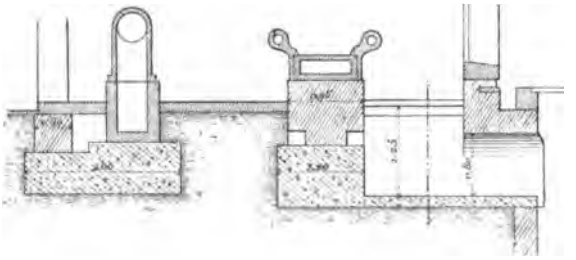


Fig. 375. — Coupe suivant CDEFG.

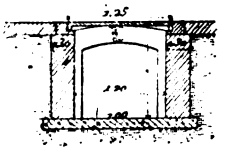


Fig. 376. — Caniveau.
Coupe suivant *ab*.

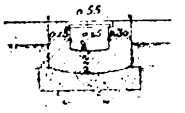


Fig. 377. — Caniveau.
Coupe suivant *cd*.

(ligne d'Orléans à Gien). Les figures 372, 373 et 374 donnent le plan, l'élévation et la coupe transversale du bâtiment, avec l'indication de l'emplacement de la machine et du puisard. Les figures 375 à 377 donnent les détails de l'installation de la machine et de l'aqueduc d'aspiration de l'eau.

Conduite de refoulement. — La conduite de refoulement est destinée à amener les eaux du bâtiment de la machine fixe au réservoir situé dans la station.

Cette conduite a souvent une très grande longueur; il y a intérêt par conséquent à lui donner un faible diamètre, afin de diminuer la dépense. Mais il faut considérer d'autre part que ce diamètre a une influence directe sur la force motrice de la machine élévatoire. En effet, le travail de cette machine se compose de deux parties : 1° le travail d'élévation de l'eau du niveau de la rivière au niveau du réservoir; 2° celui qui est nécessaire pour vaincre les frottements que produit le passage de l'eau dans la conduite de refoulement. Si donc on adopte pour cette dernière un diamètre trop petit, on sera conduit à une grande dépense de force motrice; si au contraire on donne un grand diamètre à la conduite, on diminuera le travail de la machine, mais on augmentera le prix d'acquisition des tuyaux de refoulement. Le problème à résoudre consiste à déterminer ce diamètre en tenant compte des divers éléments : dépense d'établissement de la conduite, dépense d'établissement de la machine et frais de service.

M. Sévène a exposé dans son *Cours des Chemins de fer* un calcul qui est dû à L. Cazavan, ingénieur à la compagnie d'Orléans, et qui permet de déterminer sûrement le diamètre le plus avantageux. Nous le résumons de la manière suivante.

Désignons par N la puissance de la machine en chevaux. La dépense de cette machine n'est pas exactement proportionnelle à N; elle ne descend pas au-dessous d'un certain minimum et on peut la représenter assez exactement par l'expression

$$P = \alpha N + \beta,$$

dans laquelle α et β sont deux constantes et où P désigne le prix total de la machine, c'est-à-dire son prix d'établissement augmenté de la dépense annuelle de consommation et d'entretien capitalisée.

Désignons par D le diamètre de la conduite, par L sa longueur. La dépense de la conduite est évidemment proportionnelle à L; elle n'est pas exactement proportionnelle à D, parce qu'il y a certains frais, tels que les frais de pose, qui sont à peu près indépendants du diamètre ; on peut représenter la dépense d'établissement de la conduite par l'expression

$$P' = (\alpha' D + \beta') L,$$

dans laquelle α' et β' sont des constantes.

Dès lors si l'on pose

$$Y = \alpha N + \beta + (\alpha' D + \beta') L,$$

Y représentera la dépense totale de la conduite et de la machine élévatoire, y compris les frais d'entretien et de consommation.

Le problème se réduit donc à déterminer D, de telle sorte que Y soit un minimum.

Pour cela il faut d'abord exprimer N en fonction de D. Or, si on appelle

Q, le débit par seconde à élever par la conduite, exprimé en mètres cubes ;

h, la hauteur en mètres à laquelle il faut élever l'eau,

le travail à produire par la pompe, exprimé en kilogrammètres, sera

$$1\,000\,Q\left(h + \frac{Q^2 L}{400\,D^5}\right).$$

Le premier terme de cette expression représente le travail d'élévation de l'eau; le second celui du frottement de l'eau dans la conduite (d'après les formules de l'Hydraulique, que nous supposons connues).

Comme une pompe ne rend en général que les $\frac{6}{7}$ du travail qui lui est transmis, le travail à produire par la machine sera

$$\frac{7}{6} \times 1\,000\,Q\left(h + \frac{Q^2 L}{400\,D^5}\right),$$

exprimé en kilogrammètres; et, pour l'exprimer en chevaux-vapeur, il suffira de le diviser par 75.

On aura donc :

$$N = \frac{7}{6 \times 75} \times 1\,000\,Q\left(h + \frac{Q^2 L}{400\,D^5}\right).$$

Par suite, si l'on remplace N par cette valeur dans l'expression de Y, on voit que Y devient une fonction d'une seule variable D.

Or, on sait que pour trouver le minimum de cette fonction, il suffit de prendre la dérivée de Y par rapport à D et de l'égaler à zéro.

En faisant ce calcul, dans le détail duquel nous n'entrerons pas, on trouve finalement :

$$D^6 = \frac{7}{36} \times \frac{\alpha}{\alpha'} Q^3. \qquad (1)$$

Cette expression est remarquable; elle montre : 1° que le diamètre cherché est indépendant de la longueur de la conduite et de la hauteur d'élévation; 2° que ce diamètre dépend uniquement du débit, quand les données expérimentales α et α' sont déterminées.

Voici comment on peut obtenir approximativement les valeurs de α et α'.

Le coefficient α représente la quantité dont augmente la dépense totale de la machine (frais de premier établissement et frais annuels d'entretien et de consommation capitalisés), lorsque sa puissance augmente d'un cheval-vapeur.

Comme frais de premier établissement, cette augmentation est d'environ 1000 francs.

Comme entretien, on peut l'évaluer à 50 francs par an, ce qui représente aussi un capital de 1000 francs (au taux de 5 p. 100).

Quant à la consommation, on peut admettre que la machine brûle 4 kilogrammes de houille par cheval et par heure et qu'elle marche dix heures par jour; c'est la limite ordinaire du travail de ces machines. Sa consommation par cheval sera donc de 48 kilogrammes par jour ou de 15 tonnes par an, lesquelles, à 30 francs la tonne, donnent une dépense annuelle de 450 francs; cette dépense correspond à un capital de 9000 francs.

On a donc

$$\alpha = 1\,000 \text{ fr.} + 1\,000 \text{ fr.} + 9\,000 \text{ fr.} = 11\,000 \text{ fr.}$$

Le coefficient α' représente l'augmentation de dépense d'un mètre de longueur de conduite, lorsque son diamètre s'accroît de 1 mètre, l'épaisseur restant constante. Il est certain que si le diamètre des conduites variait de mètre en mètre, leur épaisseur ne pourrait pas rester la même; mais ces accroissements de diamètre se font, non pas par mètre, mais par centimètre et l'épaisseur des tuyaux reste constante et égale à 1 centimètre, pour toutes les conduites susceptibles d'être employées à l'usage que nous avons en vue.

Or, si on consulte les prix de revient des conduites, on verra que l'augmentation de prix du mètre courant est d'environ 0,85 fr. pour une augmentation de diamètre de 1 centimètre; on a donc

$$\alpha' = 85 \text{ fr.}$$

Par suite

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{11\,000}{85} = 130.$$

Si on substitue cette valeur dans la formule (1), on trouve

$$D^6 = 25\ Q^3,$$

d'où l'on tire

$$D = 1{,}71\ \sqrt{Q}.$$

Telle est l'expression du diamètre en fonction du débit.

Remarquons que, malgré l'incertitude qui pèse sur l'appréciation des coefficients α et α', que nous avons déterminés d'une manière tout à fait approximative, cette expression est cependant suffisamment exacte; en effet

le terme $\frac{\alpha}{\alpha'}$ n'y entre que par sa racine sixième, de sorte qu'une erreur, même importante, commise dans la détermination des coefficents α et α' ne doit avoir qu'une influence très faible sur la valeur de D. Si, par exemple, on s'était trompé de 50 p. 100 sur la valeur du terme $\frac{\alpha}{\alpha'}$, il n'en résulterait qu'une erreur de moins de 1/10 sur celle de D.

Si on appelle maintenant V la vitesse de l'eau dans la conduite de refoulement on a

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 V,$$

et, en portant cette valeur de Q dans la formule (2), en en tire

$$V = 0,43 \text{ m.}$$

Nous arrivons donc finalement à cette conclusion remarquable : *La vitesse qui correspond au diamètre le plus avantageux de la conduite de refoulement est indépendante des conditions d'établissement de la prise d'eau ; elle est constante et égale à* 0,43 *m. par seconde.*

Cette conclusion fournit un moyen pratique très simple pour déterminer le diamètre de la conduite de refoulement.

Supposons qu'on ait à établir une alimentation de 100 mètres cubes par jour au moyen d'une machine travaillant dix heures par jour, c'est-à-dire élevant 10 mètres cubes d'eau par heure. Le débit par seconde de la conduite de refoulement sera

$$Q = \frac{10^{m3}}{3\,600} = 0,00277 \text{ m}^3.$$

On aura donc, en appliquant la règle précédente :

$$0,00277 = \frac{\pi D^2 \times 0,43}{4},$$

d'où on tire

$$D = 0,092 \text{ m.}$$

Pour rester dans les dimensions des tuyaux en fonte que fournit le commerce, on prendra une conduite en 100 millimètres de diamètre.

Réservoir. — L'eau, amenée par la conduite de refoulement, est emmagasinée dans un réservoir placé à une altitude convenable d'où elle est ensuite distribuée dans les tenders, comme nous le verrons plus loin.

Le réservoir est une cuve cylindrique en tôle, avec fond sphérique (fig. 378 à 380), dont la capacité est habituellement de 100 mètres cubes. Quand cette capacité ne suffit pas, on réunit deux réservoirs, de manière à obtenir 200 mètres cubes. La partie cylindrique est formée par des anneaux en tôle rivés l'un au-dessus de l'autre; l'anneau inférieur est assemblé avec

le fond au moyen d'une cornière. On donne à la tôle du cylindre une épaisseur de 3,5 mm. et à celle du fond une épaisseur de 6 millimètres.

Afin d'obtenir la pression nécessaire pour l'écoulement de l'eau dans la distribution, on établit le fond de cette cuve à une hauteur de 5 mètres environ au-dessus du niveau des rails; à cet effet, on la fait reposer soit sur un échaufaudage en charpente, soit sur une tour en maçonnerie. En outre,

ALIMENTATION D'EAU. — RÉSERVOIR DE 100mc

Compagnie d'Orléans. — Chemins bretons. — Échelle de 0m,004 par mètre.

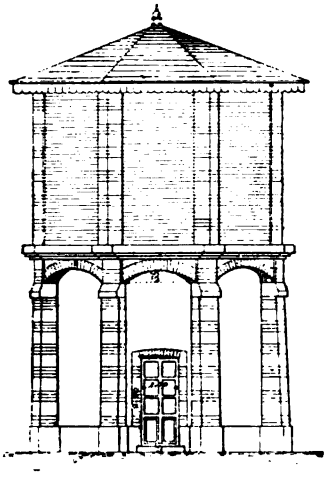


Fig. 378. — Élévation.

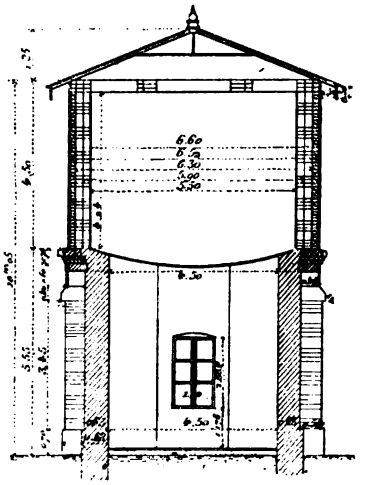


Fig. 379. — Coupe transversale.

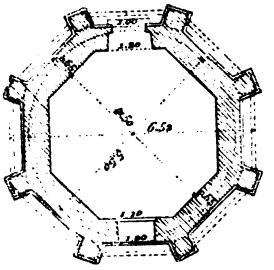


Fig. 380. — Plan.

on entoure cette cuve au moyen d'une enveloppe en bois ou en briques, de manière à pouvoir empêcher l'eau de se congeler en hiver ; il suffit généralement pour cela de bourrer avec de la paille ou du foin l'intervalle annulaire compris entre la cuve et son enveloppe.

Les figures 380 à 383 montrent le détail des appareils nécessaires pour le fonctionnement du réservoir. Ces appareils sont :

1° Le tuyau de refoulement, qui monte jusqu'au sommet de la cuve, de manière à verser l'eau par en haut;

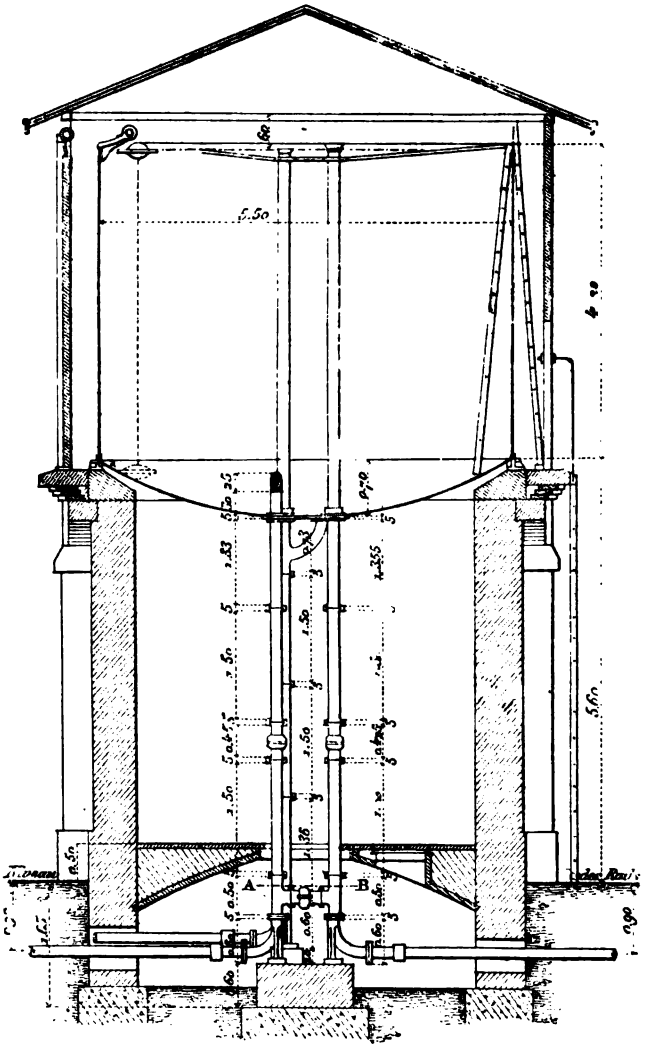
2° La conduite de distribution ou de libre communication, qui part, au contraire, du bas de la cuve, de manière à pouvoir utiliser toute l'eau qu'elle contient ; on a soin seulement de tenir son origine à 0,30 m. ou 0,40 m. au-dessus du fond, à cause des dépôts qui peuvent s'y former ;

3° Le tuyau de trop-plein, partant du haut de la cuve et celui de vidange

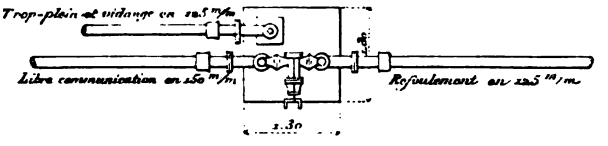
ALIMENTATION. — RÉSERVOIR DE 100^{mc}.

(Compagnie d'Orléans.)

Fig. 381. — Installation des colonnes d'alimentation et des échelles (échelle de 0^{m}.01 par mètre).



Plan et coupe suivant AB.



partant du fond, se réunissant en un seul au-dessous du réservoir et aboutissant à un point de la station qui permet l'évacuation des eaux ;

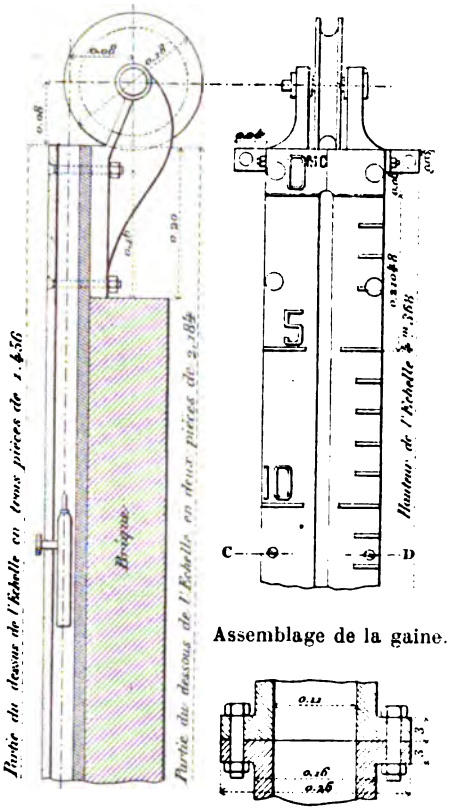
4° Une échelle indiquant le niveau de l'eau, avec une graduation faisant connaître la capacité correspondante en mètres cubes ;

5° Une échelle extérieure, permettant de monter jusqu'au réservoir et une autre échelle intérieure qui permet de pénétrer à l'intérieur de la cuve pour la nettoyer.

ALIMENTATION

(Compagnie d'Orléans.)

Fig. 382. — Détails de l'échelle de niveau d'eau. Échelle de 0m,10 par mètre.



Assemblage de la gaine.

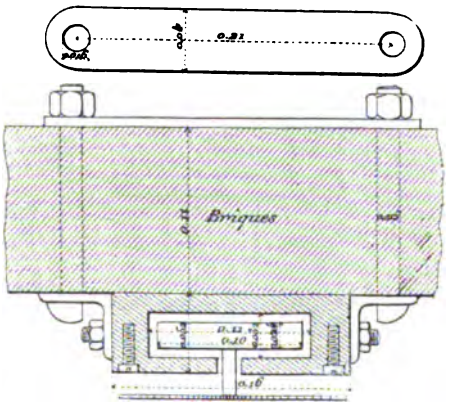


Fig. 383. — Coupe suivant CD. Échelle de 0m,20 par mètre.

DISTRIBUTION. — Les appareils de distribution sont destinés à débiter l'eau du réservoir en tous les points de la station où elle est nécessaire.

Celui qu'on emploie pour l'alimentation des machines est une *grue hydraulique*, représentée par les figures 384 à 386. C'est une colonne en fonte, portant un bras horizontal mobile et terminé par un tuyau flexible. Cet appareil est installé le long de la voie où stationnent les machines et son bras mobile est habituellement effacé parallèlement à cette voie. Quand le mécanicien veut prendre de l'eau, il l'amène dans une position perpendiculaire et introduit le tuyau flexible dans la caisse à eau du tender, puis il ouvre le robinet qui permet à l'eau de s'échapper. Ce robinet est placé à l'extrémité du bras horizontal et, par conséquent, à portée du mécanicien qui n'a pas besoin de se déranger pour le manœuvrer ; mais, quand il le referme, la grue reste pleine d'eau. Cela n'a pas d'inconvénient tant que la température ne descend pas au-dessous de zéro ; mais en hiver cela pourrait avoir pour conséquence de briser la

ALIMENTATION. — GRUE HYDRAULIQUE A COLONNE PIVOTANTE

(Compagnie d'Orléans.) — Echelle de 0m,02 par mètre.

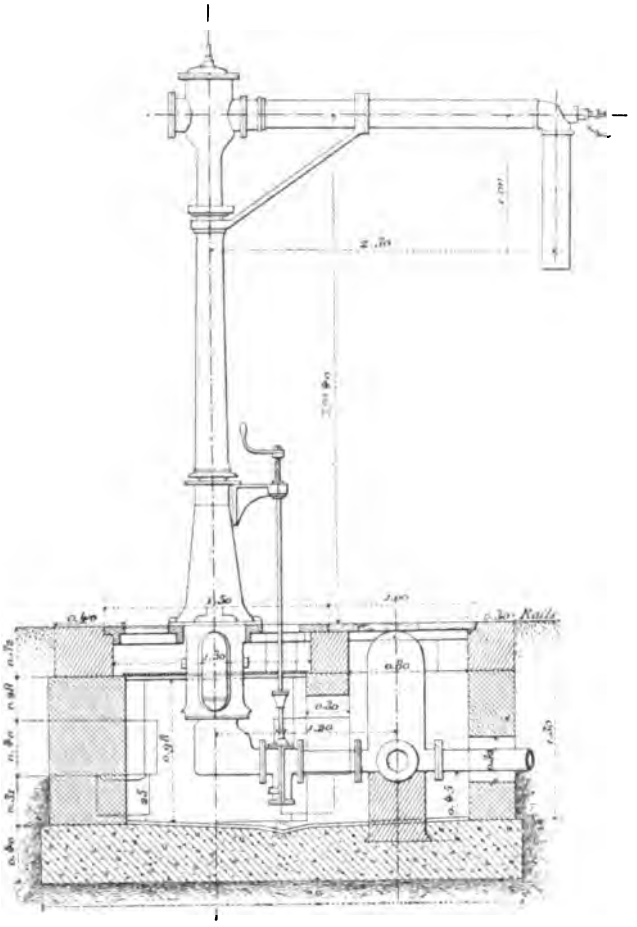


Fig. 384. — Coupe suivant EF.

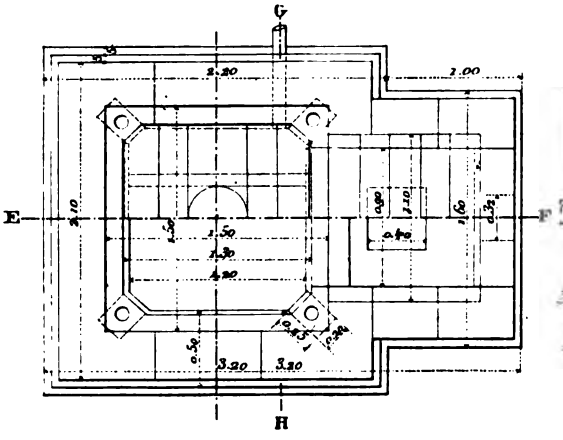


Fig. 385. — Plan.

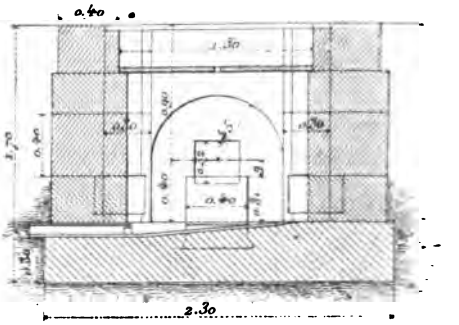


Fig. 386. — Coupe suivant GH.

colonne en fonte, par suite de la congélation de l'eau qu'elle contient. On évite cet inconvénient en installant un deuxième robinet à la base de l'appareil ; ce robinet, en se fermant, fait communiquer la colonne avec un tuyau de vidange par où l'eau s'écoule.

Il faut que cette grue soit installée de manière à assurer le remplissage rapide du tender ; on doit donc disposer d'une pression suffisante entre le réservoir et la grue. Cette dernière ayant son bras horizontal placé à 3,40 m. au-dessus du niveau du rail, on voit que, lorsque le réservoir est plein, la différence de niveau est de 6 mètres environ, mais que, si l'eau du réservoir baisse peu à peu, cette différence diminue jusqu'à se réduire à 2 mètres à peu près.

On calcule le diamètre du tuyau de distribution de telle sorte que, lorsque l'eau du réservoir est à son niveau le plus bas, le remplissage du tender ne dure pas plus de trois minutes. Ce diamètre varie nécessairement suivant la distance qui sépare la grue du réservoir. Quand cette distance n'est pas supérieure à 250 ou 300 mètres, une conduite en 150 millimètres suffit pour assurer le remplissage du tender dans le délai indiqué.

Quelquefois, pour augmenter encore la vitesse du remplissage, on se sert d'un appareil appelé *grue-réservoir ;* c'est un réservoir, dont la capacité est égale à celle du tender, monté sur une colonne en fonte analogue à celles des grues ordinaires. On peut alors, dans l'intervalle du passage des trains, remplir lentement ce petit réservoir au moyen d'une conduite de distribution d'un diamètre restreint ; au moment du passage d'un train, ce réservoir se vide dans le tender avec une grande rapidité, au moyen d'une bouche de grande dimension, qui prend l'eau directement au fond du réservoir. Ces appareils sont employés par les compagnies de l'Ouest et du Nord.

Indépendamment de la grue hydraulique, destinée à l'alimentation des machines, on installe habituellement dans les stations de prise d'eau des bornes-fontaines et autres appareils usités dans toutes les distributions ordinaires, pour se procurer de l'eau partout où cela est nécessaire dans la station.

Prix de revient d'une alimentation d'eau. — La dépense d'installation d'une alimentation dépend nécessairement de son importance et les chiffres que nous donnons ci-dessous ne sont que des renseignements se rapportant à des conditions particulières et déterminées.

Nous supposerons un réservoir de 100 mètres cubes, alimenté par une machine de la force de quatre chevaux, située à une distance de 1 500 mètres du réservoir ; nous admettrons en outre qu'il y ait deux grues hydrauliques, une pour chaque voie, séparées du réservoir par une distance

de 250 mètres et nous comprendrons dans notre estimation le prix des deux fosses à piquer qu'on installe le long des voies, en face des grues, ainsi que les différents appareils (bornes-fontaines, conduites, accessoires, etc.), destinés aux divers besoins de la station.

Dans ces conditions, on peut, d'après M. Sévène, évaluer à 65 000 francs la dépense d'une alimentation d'eau. Cette dépense se décompose comme il suit :

1° *Prise d'eau.*

Prise d'eau proprement dite.	2 000 fr.	17 000 fr.
Machine de 4 chevaux, pompe, cheminée, etc.	9 000 —	
Bâtiment de la machine fixe.	6 000 —	

2° *Refoulement.*

Tuyaux de conduite en 108 millimètres sur 1 500 mètres de longueur, y compris la pose.		15 000 —

3° *Réservoir.*

Cuve en tôle de 100 mètres carrés avec ses tuyaux.	5 000 fr.	13 000 —
Château d'eau en maçonnerie	8 000 —	

4° *Distribution.*

2 grues hydrauliques	3 000 fr.	20 000 —
2 fosses à piquer.	2 000 —	
Tuyaux de distribution en 150 millimètres sur 500 mètres de longueur.	7 000 —	
Bornes-fontaines, conduites, accessoires et divers.	8 000 —	
Total comme ci-dessus		65 000 fr.

Emploi du moulin a vent comme machine fixe. — Lorsque l'alimentation des locomotives dans une station n'a pas un caractère permanent, c'est-à-dire lorsque la prise d'eau n'est établie que dans le but de parer à une détresse ou à un besoin imprévu, et constitue, en définitive, une prise d'eau de secours destinée à fonctionner rarement, il y a intérêt à éviter la dépense d'établissement et le fonctionnement d'une machine à vapeur. On peut, dans ce cas, faire une économie très appréciable en employant comme moteur un moulin à vent qui fait monter l'eau dans le réservoir pendant les périodes de brise et ne fonctionne plus par les temps calmes.

Nous citerons, comme exemple de ce système, la prise d'eau établie à Savigny sur la ligne de Loudun à Châtellerault (réseau de l'État).

La ligne dont il s'agit a une longueur de 50 kilomètres et, au moment de sa construction, des alimentations existaient déjà dans les gares extrêmes de Châtellerault et de Loudun. Comme la consommation d'eau nécessaire pour effectuer le parcours de 50 kilomètres est de 5 000 litres et que les tenders

contiennent de 6 000 à 6 500 litres, les machines pouvaient à la rigueur ne pas s'approvisionner en cours de route. Il était donc à présumer que l'alimentation de Savigny, placée au milieu du parcours, ne serait utilisée que très rarement.

En admettant que chacun des six trains qui parcourent journellement la ligne prît un mètre cube d'eau, soit 6 mètres cubes au total, la consommation maxima, comprenant les robinets de puisage et l'imprévu, ne devait pas dépasser 7 à 8 mètres cubes.

Dans ces conditions, les frais d'établissement et de mise en marche d'une machine à vapeur ont paru hors de proportion avec la consommation qu'il y avait à assurer et l'on a décidé de substituer aux marchines à vapeur un moulin à vent du système Beaume, constructeur à Boulogne-sur-Seine.

Le modèle choisi est le moulin n° 6, qui a une roue motrice de 4, 20 m. de diamètre ; il est muni d'un système d'orientation et de désorientation automatique ; lorsque la force du vent atteint plus de 15 mètres par seconde, l'appareil s'efface, et, par suite, on n'a pas à craindre les accidents auxquels pourraient donner lieu des vents trop forts.

Le constructeur garantit un rendement de 1,200 lit. par tour de roue.

D'après cette donnée, on a dressé le tableau suivant, qui présente les rendements proportionnels à la vitesse du vent :

VITESSE DU VENT par seconde.	RENDEMENT DE LA POMPE en litres par heure.	RENDEMENT PAR JOURNÉE de 24 heures de travail.
De 0 à 3 mètres.	»	»
3 mètres.	80 litres.	1 920 litres.
4 —	180 —	4 320 —
5 —	350 —	8 400 —
6 —	620 —	14 880 —
7 —	1 110 —	26 640 —
	1 600 —	38 400 —
9 —	2 200 —	52 800 —
10 —	2 900 —	69 600 —
11 —	3 100 —	74 400 —
12 —	3 400 —	81 600 —
13 —	3 600 —	86 400 —
14 —	3 600 —	86 400 —
15 —	3 600 —	86 400 —
Au-dessus de 15 mètres.	»	»

On a pu, en outre, à l'aide des renseignements fournis par le service météorologique d'Indre-et-Loire, se rendre compte du rendement moyen par jour.

En se basant sur les vitesses du vent pendant l'année 1884, la pompe doit fournir par an 3 400 mètres cubes, soit 9,3 m^3 par jour ; c'est plus qu'il ne faut pour assurer l'alimentation.

L'expérience a d'ailleurs parfaitement réussi : la consommation journalière est d'environ 4 500 litres et elle atteint parfois 5 000 à 6 000 litres. Jusqu'à présent, le moteur a suffi à ces besoins, et il n'y a pas eu d'accident ayant arrêté le fonctionnement de l'appareil. De plus, il est possible de faire fonctionner les pompes à bras d'homme, ce qui permettrait, dans le cas d'une accalmie prolongée, de suppléer au manque de brise.

Le prix de ce moteur, en place, est de 6 000 francs se décomposant ainsi qu'il suit :

Moteur	1 500 fr.
Pylône en fer supportant le moteur	2 000 —
Pompe et tuyaux	950 —
Pose des appareils et déplacement d'ouvriers	1 150 —
Total	5 600 fr.
Béton pour supporter le pylône	400 —
Total pareil	6 000 fr.

La dépense d'installation d'une machine à vapeur avec pompes du type État aurait été de 16 000 francs ; il en résulte donc une économie de 10 000 francs.

D'un autre côté, les frais d'entretien sont insignifiants ; il n'y a pas lieu de faire venir un mécanicien et on ne consomme pas de combustible. Il en résulte donc une nouvelle économie.

Toutes les installations de la prise d'eau de Savigny (moteur, réservoir, tuyauterie, etc.) ont donné lieu à une dépense de 35 000 francs.

Les résultats donnés par ce mode d'alimentation sont très satisfaisants et nous croyons qu'il y a là une installation intéressante à signaler à l'attention des ingénieurs [1].

ALIMENTATION EN ROUTE. — Nous mentionnerons ici une solution originale et ingénieuse de l'alimentation des machines qui a été imginée en Angleterre par M. *Ramsbottom*, ingénieur du *North-Western Railway*.

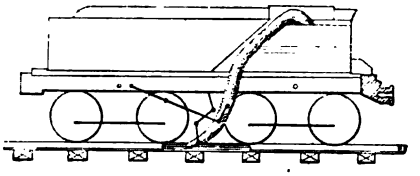


Fig. 387. — Installation d'un tender américain pour l'alimentation en route (Système Ramsbotton).

Pour éviter de surcharger les trains en y plaçant des tenders de grandes dimensions, ce qui est nécessaire lorsqu'on veut parcourir de grands espaces

[1] Les renseignements relatifs à l'installation de cette prise d'eau nous ont été fournis par M. Modelski, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

sans arrêt, comme cela se fait en Angleterre et en Amérique, M. Ramsbottom a eu l'idée d'alimenter les tenders pendant la marche. A cet effet, il place dans l'axe de la voie, sur des paliers convenablement choisis, de longues bâches dans lesquelles est approvisionnée de l'eau. En outre, le tender est muni, comme l'indique la figure 387, d'une trompe recourbée qu'on peut, par un système de leviers, relever ou abaisser, de manière à la faire plonger dans la bâche. La pression produite par la vitesse du train fait monter l'eau dans la trompe et remplit le tender.

Si on appelle S la section verticale de la trompe de prise d'eau et si Q est le volume d'eau que l'on veut embarquer dans le tender, il est clair que la longueur L de la bâche sera :

$$L = \frac{Q}{S}.$$

Dans le tender de M. Ramsbottom, on a $Q = 5^{m3}$, et l'orifice du tuyau, qui est rectangulaire, a 0,125 m. de longueur sur 0,05 m. de hauteur; donc $S = 0^{m2},0125$ et l'on a :

$$L = \frac{5^{m3}}{0^{m2},0125} = 400 \text{ mètres.}$$

Ce système d'alimentation ne peut d'ailleurs fonctionner que si la vitesse du train a une valeur notable; l'expérience prouve que si la hauteur du sommet du tuyau au-dessus de la bâche est de 2,40 m. il faut que la vitesse du train soit supérieure à 24 kilomètres à l'heure. A la vitesse de 23 kilomètres, l'alimentation est nulle.

La bâche a $0^m,15$ de profondeur et $0^m,45$ de largeur ; elle est en fonte et formée de tronçons, boulonnés sur les traverses et dont les joints sont garnis de caoutchouc pour assurer l'étanchéité.

En hiver, lorsque l'eau contenue dans cette bâche est congelée, un garde-ligne brise et enlève la glace ; mais sur les lignes où la circulation est active, le passage des tuyaux des tenders suffit généralement pour empêcher la formation de la glace [1].

Ce système qui supprime les arrêts pour l'alimentation, a encore l'avantage de permettre d'installer les bâches en tenant compte de la qualité de l'eau, puisqu'on n'est plus obligé de mettre les prises d'eau dans les stations. C'est ainsi que sur le *North Western*, les machines évitent de prendre de l'eau à Londres où elle est de mauvaise qualité; elles partent avec le tender presque vide et s'alimentent à 14 kilomètres environ de Londres.

Le système d'alimentation Ramsbottom est assez répandu en Angleterre, où on l'utilise même pour les trains de marchandises, qui marchent plus vite

[1] Couche, ouvrage cité, t. II.

que partout ailleurs; il a reçu également de nombreuses applications en Amérique.

En France, on préfère généralement, pour allonger les parcours sans arrêts, augmenter la capacité des tenders. Cependant le réseau de l'État a fait, sur la ligne de Paris à Bordeaux, une application du système qui fonctionne depuis plusieurs années déjà.

CHAPITRE IV

APPAREILS DIVERS DES STATIONS

Grues de chargement. — Grues fixes et grues roulantes. — Prix de revient. — Ponts à bascule. — Prix de revient.
Gabarits de chargement. — Heurtoirs. — Taquets d'arrêt.

Indépendamment des installations dont nous avons parlé jusqu'ici, on trouve encore dans les stations un certain nombre d'appareils destinés soit au chargement des marchandises, soit au pesage des wagons chargés, soit à la vérification du gabarit de ces wagons, soit enfin à divers services accessoires. Nous examinons ci-dessous quelques-uns de ces appareils.

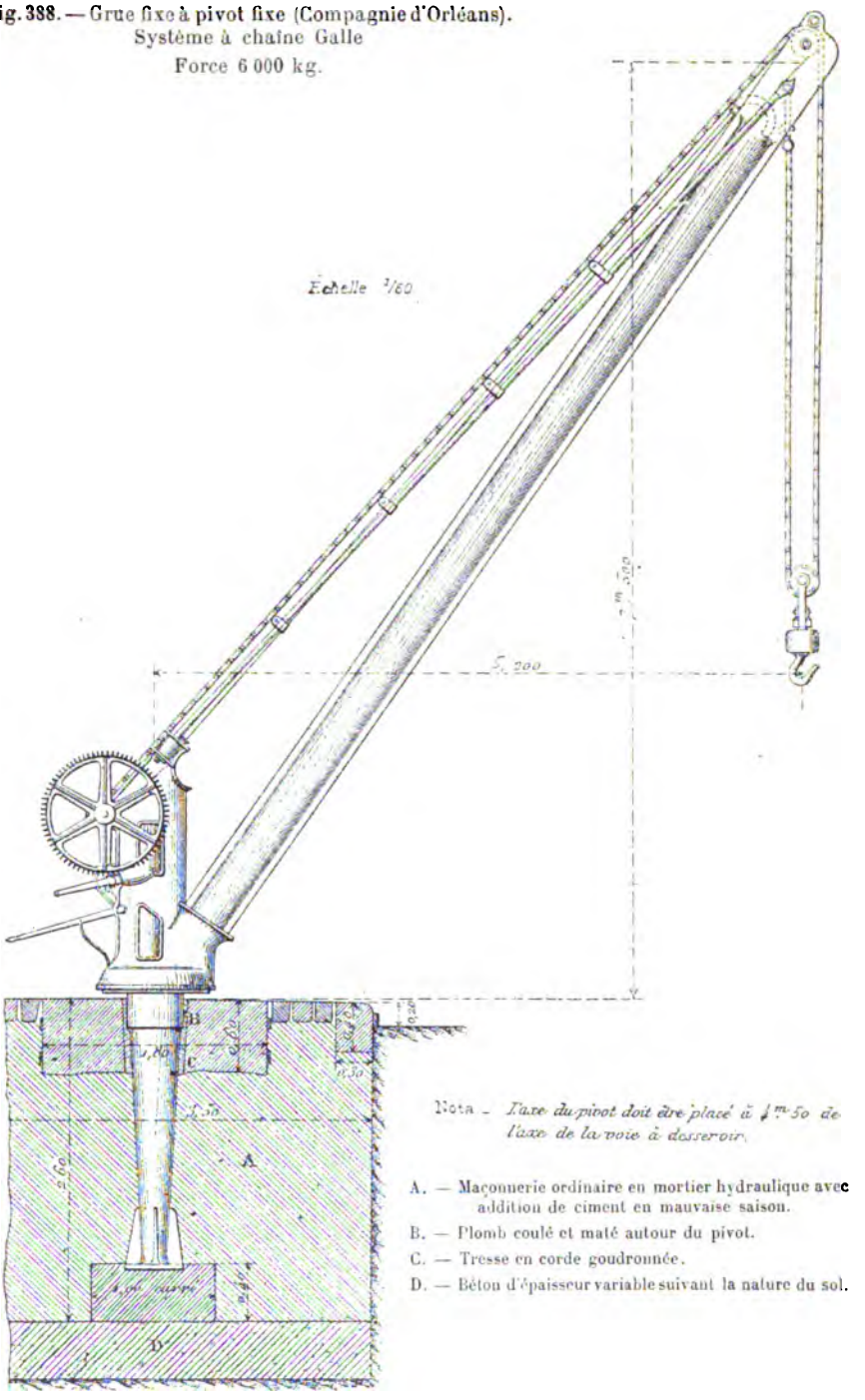
Grues de chargement. — Les grues employées sur les chemins de fer pour le chargement des marchandises pondéreuses appartiennent à des types très divers, mais elles rentrent toutes dans les deux catégories suivantes : *grues fixes* et *grues roulantes*.

Les premières se divisent elles-mêmes en deux catégories bien distinctes, suivant que leur pivot est fixe et que la flèche tourne autour de lui, ou bien que le pivot fait corps avec la flèche et prend part au mouvement de rotation de la grue.

Nous représentons (fig. 388 et 389) un type de grue fixe à pivot fixe de la compagnie d'Orléans. Elle est composée d'un pivot creux en fonte, engagé dans un massif de maçonnerie de mortier hydraulique, A, reposant lui-même sur une fondation en béton, D, d'épaisseur variable, suivant la nature du terrain ; la base du pivot est maintenue par la fondation à la hauteur voulue. B est une couche de plomb coulé et maté autour du pivot ; C est une tresse en corde goudronnée. Un bâti en fonte ou en tôle enveloppe la partie du pivot qui se trouve au-dessus du sol ; ce bâti tourne autour du pivot et entraîne avec lui la flèche, qui bute contre lui à sa base et qui lui est en outre reliée au sommet par des tirants en fer. Un treuil monté sur le bâti et actionnant une chaîne Galle complète l'appareil.

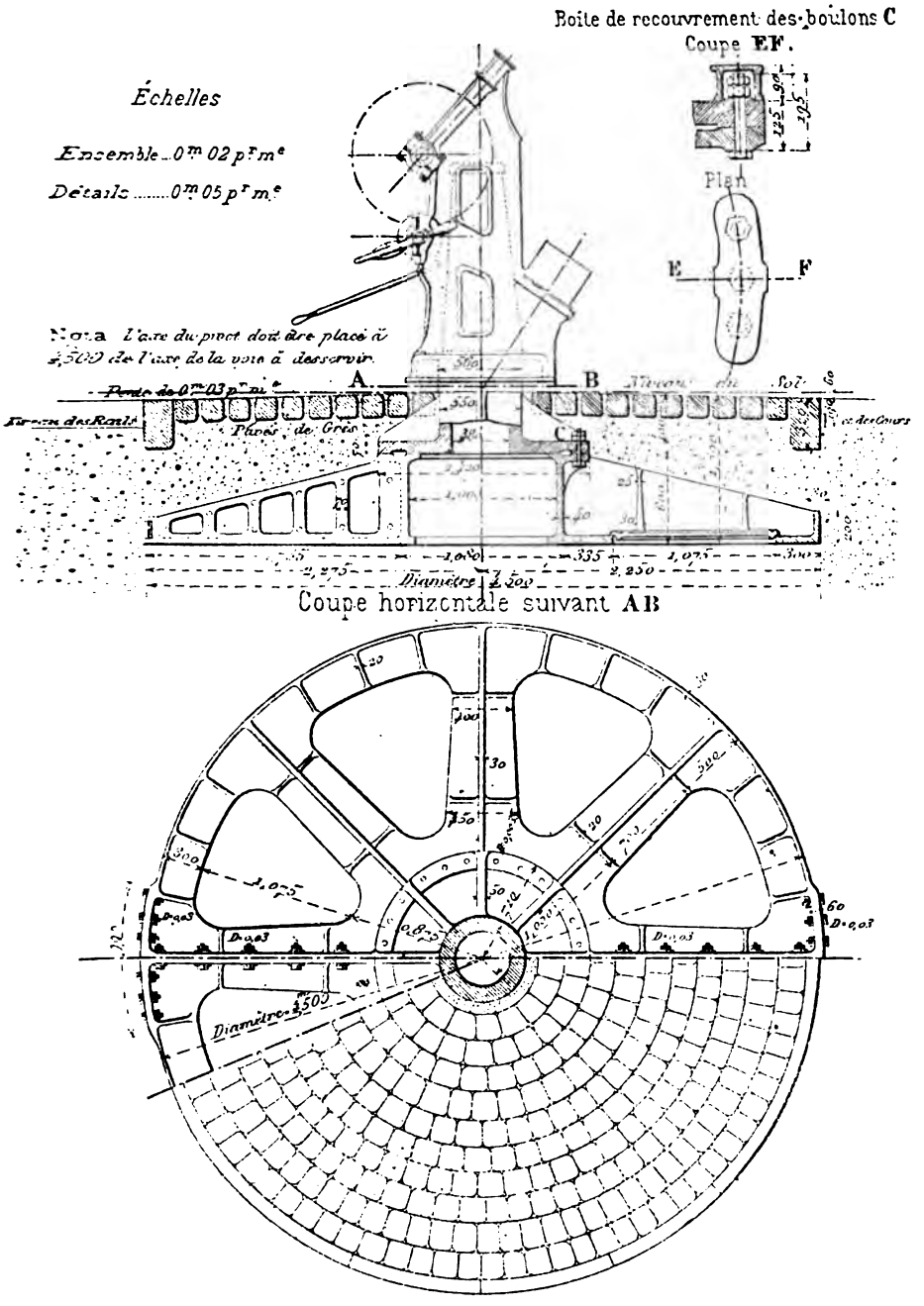
Dans les grues à pivot tournant, le pivot, au lieu d'être engagé dans la fondation, est logé dans un puits en maçonnerie bien étanche ou dans un

Fig. 388. — Grue fixe à pivot fixe (Compagnie d'Orléans).
Système à chaîne Galle
Force 6 000 kg.



cuvelage en fonte enveloppé de maçonnerie ; il repose à sa partie inférieure

Fig. 389. — Plan de pose de la grue à pivot fixe et à plateau de 6000 kg.



sur une crapaudine et s'appuie, au niveau supérieur de la fondation, sur une **couronne** de galets contre lesquels il tourne.

Les grues roulantes sont formées d'un bâti qui porte la flèche, le treuil et les accessoires ; le tout est placé sur un wagonnet à quatre roues qui peut circuler sur les voies et permet d'amener la grue dans les différents endroits où l'on en a besoin (fig. 390).

La force de l'appareil peut être augmentée en reliant le wagonnet aux rails de la voie au moyen de griffes. Celle que représente la figure 390 a une

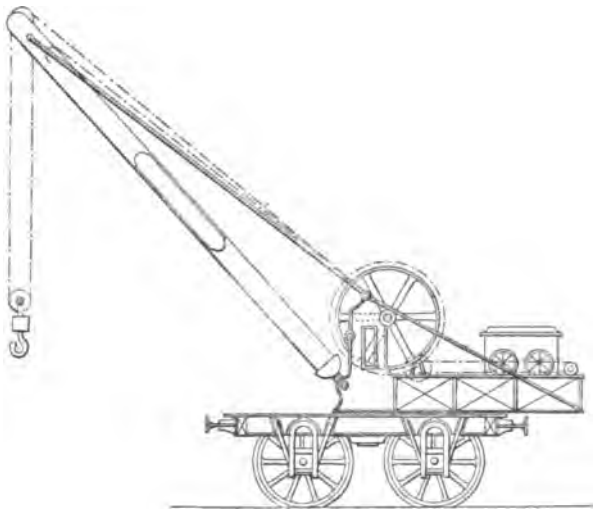


Fig. 390. — Grue roulante à pivot fixe de 4000 et 6000 kilogrammes. — Compagnie de l'Ouest. (Echelle $\frac{1}{100}$).

force de 4 000 kilogrammes, quand elle est libre, et de 6 000 kilogrammes quand elle est agrafée.

Les grues roulantes se font aussi au moyen d'une poutre métallique placée transversalement à une certaine hauteur au-dessus des voies et supportée par un chevalet en charpente, roulant sur une voie placée au niveau du sol. La figure 391 représente la disposition d'une grue de cette nature employée par la compagnie d'Orléans.

Le prix des appareils de chargement varie suivant leur force et le système d'après lequel ils sont établis ; une grue fixe de 6 tonnes coûte de 5 000 à 6 000 francs ; une grue roulante de 12 tonnes, avec poutre métallique et chevalet en charpente, coûte à peu près 11 000 francs.

Ponts a bascule. — Il peut être nécessaire, dans certains cas, de vérifier le poids total d'un wagon muni de son chargement ; cette opération se fait au moyen d'un appareil installé sur une voie secondaire et nommé pont à bascule. Les figures 392 à 394 représentent la disposition et les différents détails d'un de ces appareils.

Il se compose d'un tablier rectangulaire A en métal reposant sur des

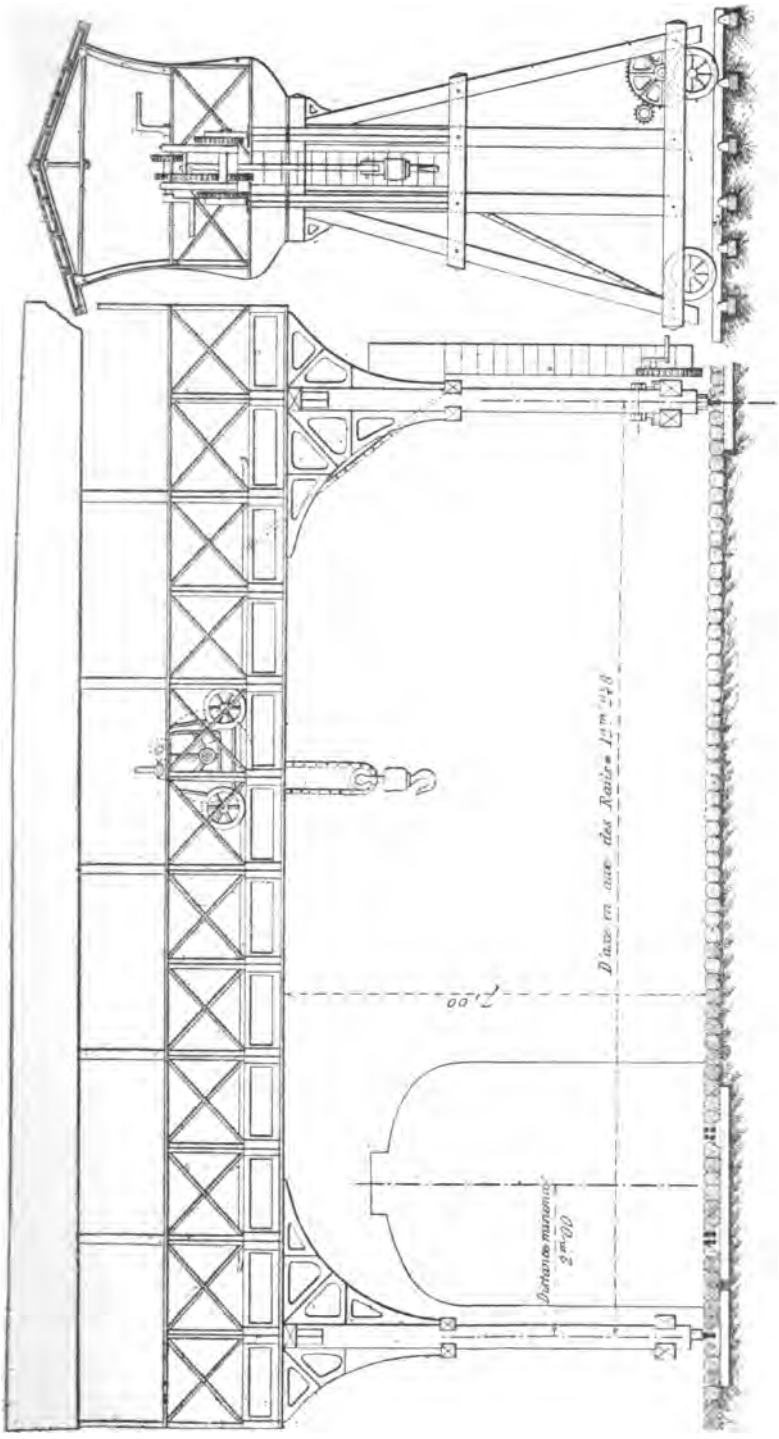


Fig. 391. — Grue roulante à poutre métallique. — Force 12000 kilos. — Compagnie d'Orléans. — (Echelle $\frac{1}{100}$).

PONT A BASCULE DE 20 TONNES A TABLIER MÉTALLIQUE

Échelle de 0m,015 par mètre.

Fig. 392. — Coupe en long suivant *ab*.

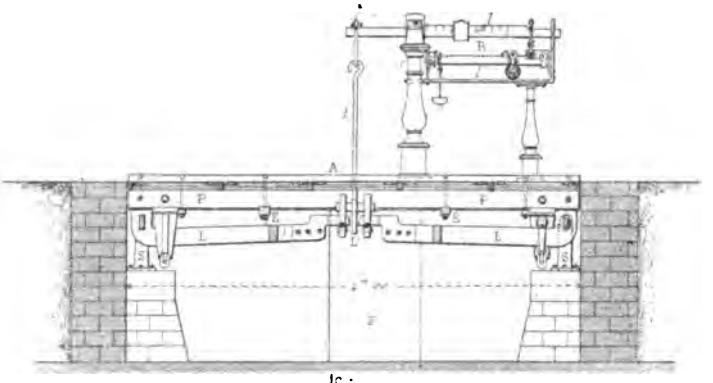


Fig. 393. — Plan du mécanisme.

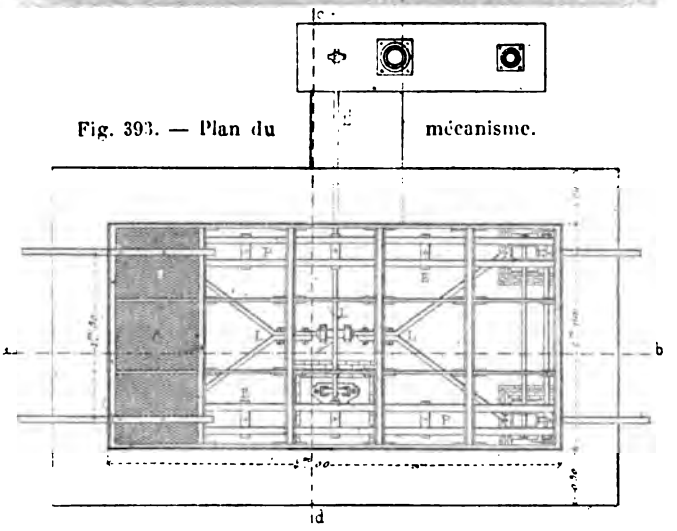
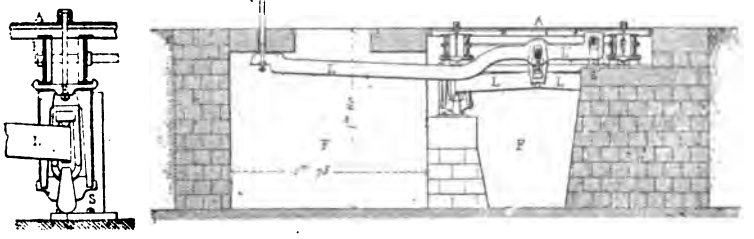


Fig. 394. — Coupe en travers suivant *cd*.



poutres P en fer à double T, réunies par des étriers E. Deux leviers L, supportés par des coussinets S, qui sont fixés au massif de la maçonnerie de fondation, reçoivent la charge du tablier et la transmettent à un levier vertical L', qui communique par une tringle *t* avec une balance romaine R. Le tablier et le mécanisme sont placés dans une fosse en maçonnerie F et les rails du pont à bascule correspondent exactement à ceux de la voie.

Ces appareils doivent être assez grands pour recevoir un wagon chargé ; leurs dimensions varient de 3 à 4 mètres de longueur sur 2 mètres de largeur environ.

Leur prix dépend de leur force et du mode de construction adopté ; il varie de 1 300 à 1 600 francs pour des ponts de la force de 15 à 30 tonnes.

Quant à la fosse en maçonnerie, elle peut coûter de 300 à 600 francs, suivant les difficultés de la fondation.

Gararit de chargement. — Dans toutes les stations où se fait un service de petite vitesse, on installe des *gabarits de chargement*, destinés à indiquer la forme du passage libre sous les ouvrages d'art et les tunnels, de manière que le chargement des wagons puisse être exécuté sans excéder d'aucun côté les dimensions de ce passage libre.

La nécessité de cette précaution n'a pas besoin d'être démontrée ; un wagon, dont le chargement ne passerait pas dans le gabarit, serait exposé à heurter les parois ou le sommet des ouvrages d'art et, par suite, à détériorer les marchandises dont il serait chargé. Toutes les compagnies ont donc un gabarit de chargement et, d'après leurs règlements, aucun wagon de marchandises ne doit être expédié s'il n'a pas passé librement sous le gabarit.

Malheureusement toutes les compagnies n'ont pas adopté le même et il en résulte quelquefois, lorsqu'un wagon complet doit voyager sur deux réseaux, la nécessité d'un déchargement et d'un nouveau rechargement de la marchandise, quand il passe d'un réseau sur l'autre, par suite d'un excédent de dimensions ; il y a là des frais de manutention supplémentaires qui seraient évités si toutes les compagnies avaient adopté le même gabarit, c'est-à-dire les mêmes dimensions libres au passage des ouvrages d'art.

Ces gabarits, qu'on pose transversalement sur une des voies de marchandises, ont généralement en France une largeur de 3,20 m. et une hauteur comprise entre 4 mètres et 4,30 m. Le réseau de l'Ouest fait seul exception en ce qui concerne la largeur, qui est de 3 mètres seulement.

C'est cette largeur qui a été adoptée en Allemagne par l'Union des Chemins de fer et aussi par le réseau de l'Etat belge. Sur le chemin de fer de Berg et Marche, elle descend à 2, 82 m.

La figure 395 représente le gabarit de chargement de la compagnie d'Orléans ; il forme une sorte d'arceau mobile, suspendu par des chaînes à

un châssis fixe et porte deux sonnettes, qui indiquent par leur tintement quand le chargement du wagon dépasse les dimensions réglementaires.

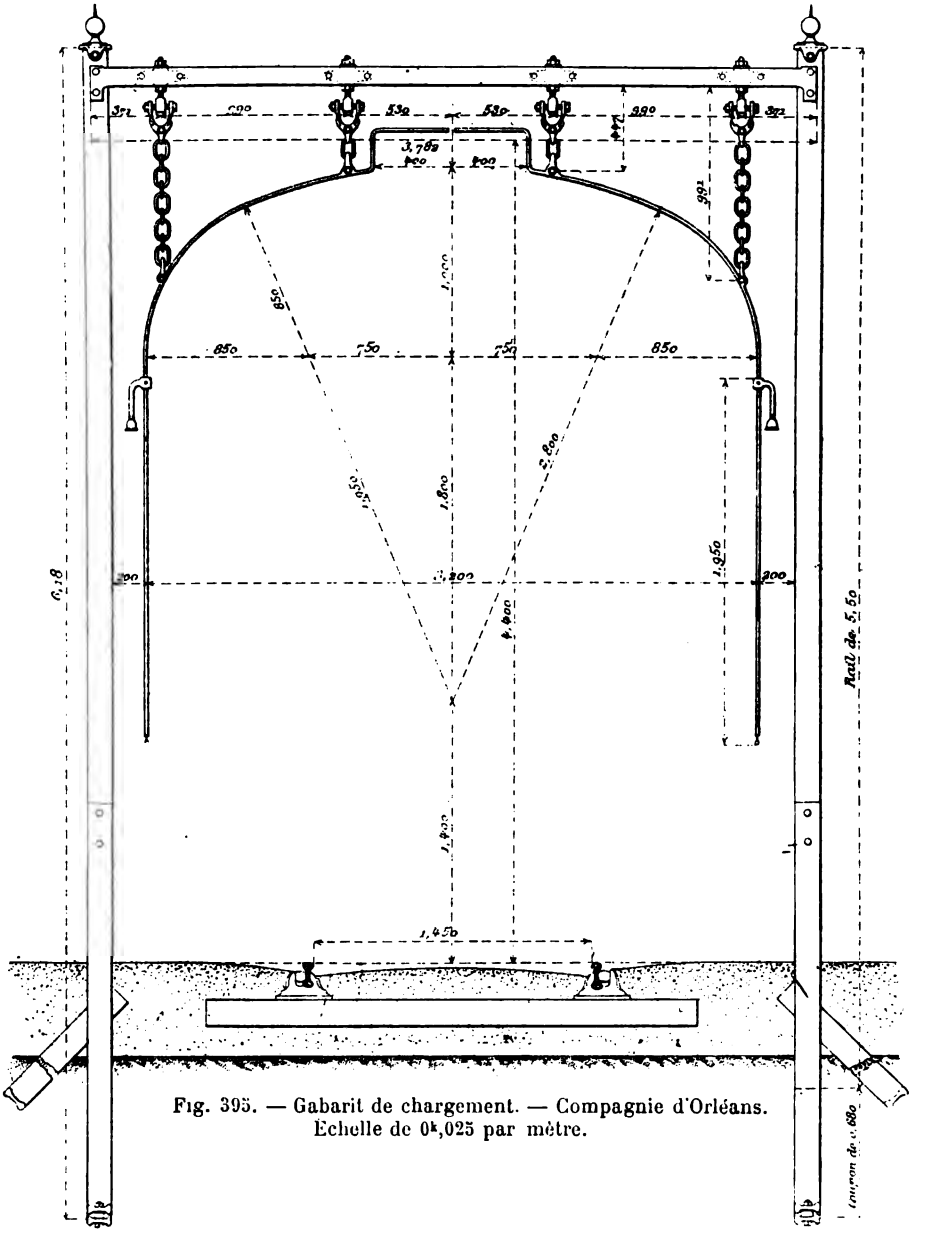


Fig. 395. — Gabarit de chargement. — Compagnie d'Orléans.
Échelle de 0ᵏ,025 par mètre.

Heurtoirs. — On appelle heurtoirs des appareils au moyen desquels on termine les voies en cul-de-sac pour empêcher les wagons de dépasser l'extrémité de ces voies. Ces heurtoirs doivent être installés avec une solidité suffisante pour résister aux chocs des tampons pendant les manœuvres des trains.

Sur les voies de garage, quand on dispose de la place nécessaire, on peut

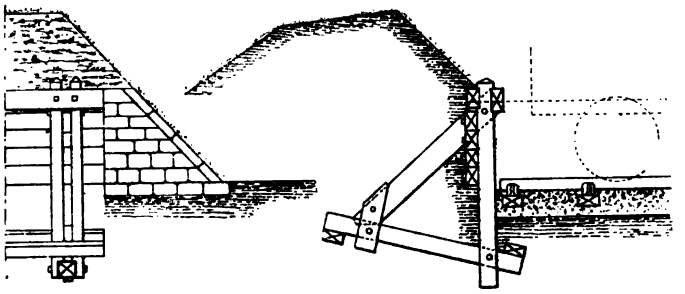


Fig. 396. — Heurtoir pour voies de garage $\left(\frac{1}{100}\right)$.

établir des heurtoirs en charpente et en terre d'après les dispositions de la figure 396. On peut les constituer très économiquement avec des traverses

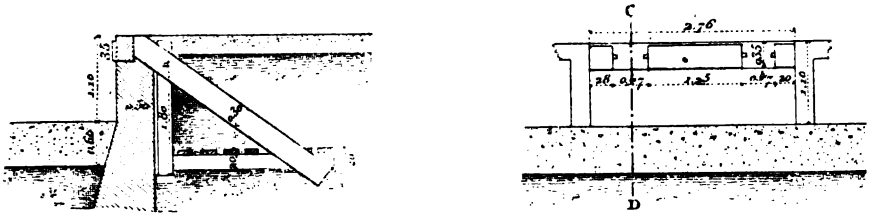


Fig. 397. — Heurtoir de quai à marchandises. — Compagnie de l'Est $\left(\frac{1}{100}\right)$.

ayant déjà servi dans la voie. On peut aussi les faire en utilisant de vieux rails.

Sur les voies en cul-de-sac qui se terminent aux quais à marchandises,

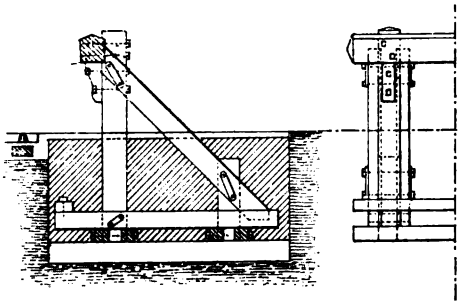


Fig. 398. — Heurtoir de voies principales. — Compagnie de l'Ouest $\left(\frac{1}{100}\right)$.

les heurtoirs peuvent être disposés comme l'indique la figure 397. Ils sont formés d'une pièce de bois horizontale placée à la partie supérieure du quai et fortement contreventée par une charpente noyée dans le terre-plein.

Enfin les heurtoirs placés à l'extrémité des voies principales dans les gares à voyageurs doivent être établis avec plus de solidité encore que les précédents et ils doivent aussi présenter un aspect plus décoratif. On les munit, en général, de tampons destinés à amortir les chocs des wagons et on les contrevente soit à l'avant, soit à l'arrière, d'après la place dont on dispose. La figure 398 représente un heurtoir avec contrefort à l'arrière et sans tampons ; la charpente est noyée dans un massif de maçonnerie reposant sur une fondation en béton. L'absence de tampons de choc a des inconvénients au point de vue de la conservation du matériel, mais elle diminue beaucoup la dépense des heurtoirs.

Le type de la figure 398 coûte en effet 475 francs environ; un tampon avec ressorts en acier peut coûter 150 francs, tout frais compris.

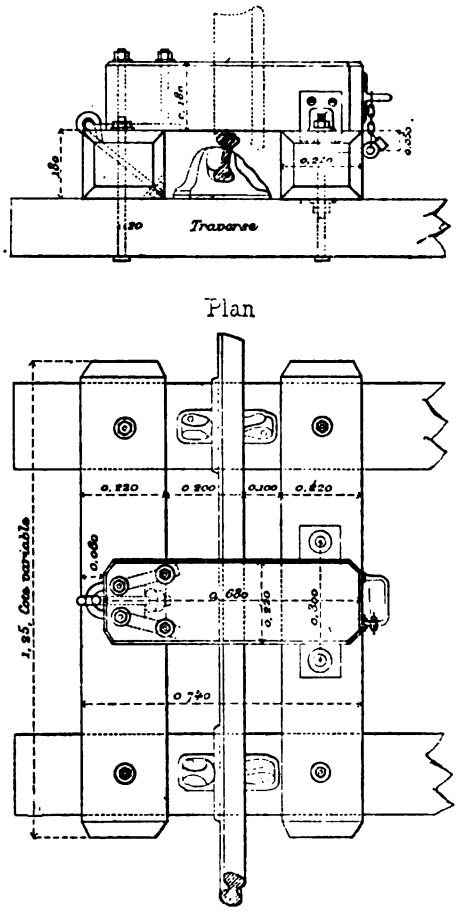


Fig. 399. — Arrêt de wagons pour voies de remisage. — Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{20}\right)$.

Taquets d'arrêt. — Lorsque des wagons doivent stationner sur une voie de remisage, il est nécessaire qu'ils soient calés de manière à ne pas être entraînés par la gravité ou poussés par le vent sur des voies où ils ne doivent pas s'engager. Le meilleur moyen pour atteindre ce résultat consiste dans l'emploi d'arrêts mobiles ou de traverses formant butoirs qui se lèvent pour fermer la voie et s'abattent pour l'ouvrir. L'emploi de ces appareils a été recommandé par une circulaire ministérielle du 20 mai 1858 ; les compagnies restent d'ailleurs libres de se servir, sous leur propre responsabilité, de tel moyen qui leur paraît efficace pour empêcher la mise en mouvement spontanée du matériel stationnant dans les gares.

La figure 399 représente un type d'arrêt mobile de la compagnie d'Orléans.

CHAPITRE V

TRAFIC PROBABLE D'UNE STATION ET D'UN CHEMIN DE FER

Méthode de M. Michel. — Son application pour déterminer : 1° l'importance des installations d'une station ; 2° le trafic probable d'un embranchement. — Méthode de M. Cossmann. — Méthode de M. Baume.

Nous avons exposé, dans les chapitres qui précèdent, les principes essentiels que l'on doit suivre dans l'établissement du plan général des stations ; nous avons indiqué ensuite de quelle manière pouvaient être disposées les différentes installations relatives aux services des voyageurs, des marchandises et de la traction. Il nous reste maintenant à expliquer de quelle manière on peut déterminer un élément qui est essentiel à connaître : c'est le trafic probable de la station à établir. Nous montrerons en même temps comment on peut évaluer le trafic probable d'une ligne à construire.

A l'origine des chemins de fer, cette question était à peu près insoluble ; les seuls renseignements dont on pouvait disposer étaient ceux que fournissaient les comptages de la circulation sur les routes et ceux qui émanaient des personnes adonnées à l'industrie des transports par terre. C'étaient des appréciations nécessairement très vagues et toutes les prévisions faites à cette époque pour le trafic probable des premières lignes établies se sont trouvées inexactes et ont été considérablement dépassées par la réalité. Au fur et à mesure que le réseau se développait, des données plus précises étaient recueillies sur cette question et, en 1868, un ingénieur des Ponts et Chaussées, M. Jules Michel, a publié dans les *Annales* un Mémoire dans lequel il exposait une méthode, fondée sur les résultats acquis jusqu'à ce jour, pour l'évaluation du trafic probable d'une ligne d'embranchement.

Cette méthode, qui a reçu de nombreuses applications, a aujourd'hui le défaut de comporter l'emploi de formules un peu anciennes et dont les coefficients ne correspondent plus d'une manière satisfaisante à la situation des nouvelles lignes à construire. Nous l'exposerons néanmoins, en raison de l'intérêt qu'elle présente.

D'après M. Michel, quand une ligne de cette nature traverse une région

agricole, le mouvement de chaque station, voyageurs et marchandises, est proportionnel à la population de l'agglomération, ville, bourg ou village, près de laquelle elle se trouve située.

En faisant un relevé sur les diverses lignes du réseau et en laissant de côté les points exceptionnels tels que les stations qui desservent des usines importantes, celles qui sont établies auprès des ports de mer donnant lieu à un transit considérable, etc., M. Michel a trouvé que le rapport entre le nombre de voyageurs expédiés annuellement et la population agglomérée de la station variait dans toute la France entre 4 et 9 et qu'il était en moyenne de 6,5 ; que pour les marchandises le rapport entre le tonnage annuel (moyenne des arrivages et des expéditions) et la population était d'environ 2,10 pour toute la France ; ce qui revient à dire que chaque station donnait annuellement par habitant 6 voyageurs 1/2 (au départ) et 2 tonnes 10 de marchandises (moyennes du départ et de l'arrivée).

Ces chiffres, en les supposant encore exacts, permettraient de déterminer l'importance des installations à établir dans chacune des gares d'une ligne à construire. Supposons qu'il s'agisse d'une station placée à proximité d'une localité, dont la population agglomérée est de 6 000 habitants; on compterait

$$6\,000 \times 6{,}5 = 39\,000 \text{ voyageurs par an au départ,}$$

et

$$6\,000 \times 2{,}10 = 12\,600 \text{ tonnes de marchandises par an, comme moyenne de départ et de l'arrivée,}$$

ce qui donnerait un mouvement total de marchandises (somme du départ et de l'arrivée) égal à $2 \times 12\,600$, soit 25 200 tonnes.

D'après les indications que nous avons données dans le chapitre précédents, l'importance des installations de la station pourra être déterminée de la manière suivante :

Surface des bâtiments de voyageurs (en admettant une moyenne de 250 voyageurs par mètre carré et par an).

$$39\,000 \times 0{,}004 = 160 \text{ m}^2 \text{ environ.}$$

Surface des quais à marchandises (en admettant un mouvement annuel de 30 tonnes par mètre carré).

$$25\,200 \times 0{,}033 = 850 \text{ m}^2 \text{ environ.}$$

Ces indications, sans avoir rien d'absolu, seront très utiles pour établir le programme général de la station.

La méthode Michel permet, en outre, de déterminer le trafic local de la ligne, c'est-à-dire le mouvement des voyageurs et des marchandises, en provenance ou à destination des localités qu'elle dessert, et c'est surtout dans ce but qu'elle a été employée. Voici comment.

M. Michel suppose que le mouvement général du trafic se fera des stations de la nouvelle ligne au point d'embranchement, et réciproquement, et il admet que le mouvement des stations entre elles sera à peu près nul. Dès lors, le trafic étant la somme des produits des expéditions et des arrivages de chaque station par le parcours moyen de chaque voyageur et de chaque marchandise, ce trafic peut être représenté par la formule

$$T = \frac{2\Sigma\,(v + t)\,d}{l} \qquad (1)$$

dans laquelle

T désigne le trafic kilométrique ;

v le nombre de voyageurs expédiés par chaque station ;

t la demi-somme des tonnes de marchandises expédiées et reçues par chaque station ;

d la distance de chaque station au point d'embranchement ;

l la longueur totale de l'embranchement.

Puisque v et t sont proportionnels à la population p de chaque station, la formule (1) peut s'écrire de la manière suivante, en désignant par m et n les coefficients de proportionnalité applicables aux voyageurs et aux marchandises :

$$T = \frac{2\,(m + n)\,\Sigma\,pd}{l}. \qquad (2)$$

Si on appelle g le rapport qui existe entre la distance au point d'embranchement du centre de gravité de la population desservie par la ligne et la longueur totale de cette ligne, on pourra écrire :

$$g = \frac{\Sigma\,pd}{l\Sigma p} \qquad (3)$$

de sorte que la formule (2) deviendra

$$T = 2g\,(m + n)\,\Sigma p. \qquad (4)$$

Cette formule permet de déterminer le trafic.

En effet on connaît Σp qui est la population agglomérée desservie par l'embranchement ; on calcule g d'après la formule (3) ; quant aux coefficients m et n, on leur donne les valeurs déterminées par M. Michel, ou mieux, celles qu'on peut déduire de l'étude directe des ressources de la région traversée. La formule (4) permet alors de calculer la valeur de T.

Pour les pays riches et industriels, M. Michel donne

$$m = 7{,}5\ n = 2{,}1.$$

Dans les pays exclusivement agricoles, il réduit le coefficient aux valeurs moyennes

$$m = 6{,}5\ n = 2{,}1,$$

Enfin, dans les régions peu productives, on peut encore diminuer les coefficients et prendre

$$m = 5{,}5 \; n = 1{,}5.$$

Pour avoir la recette brute kilométrique, il suffit d'appliquer à chaque voyageur et à chaque tonne de marchandises les taxes moyennes perçues en France ; ces taxes, qui étaient il y a quelques années de 0,05 fr. environ par voyageur (non compris l'impôt) et de 0,06 fr. par tonne de marchandises, se sont progressivement abaissées en raison du développement de plus en plus grand des tarifs spéciaux comportant des prix réduits.

D'après la statistique du ministère des Travaux publics pour 1904, ces taxes étaient de 3,65 c. par voyageur et de 4,60 c. par tonne de marchandise; on a donc pour la recette probable :

$$R = 2g \, \Sigma p \, (m \times 0{,}0365 + n \times 0{,}0460).$$

Il est important de remarquer que cette formule a été établie exclusivement en vue de l'évaluation du trafic d'un embranchement, c'est-à-dire d'une ligne en impasse ; sur une pareille ligne le trafic résulte uniquement du mouvement des voyageurs et des marchandises en provenance ou à destination des stations qu'elle dessert. S'il agissait d'une ligne reliée par ses deux bouts à des lignes existantes, la formule ne s'appliquerait plus, attendu que la nouvelle ligne pourrait alors comporter, indépendamment de son trafic local, un trafic de transit, c'est-à-dire un mouvement de bout en bout de voyageurs et de marchandises, que la formule de M. Michel n'a pas en vue d'évaluer. On pourrait dans ce cas procéder de la manière suivante: considérer successivement la nouvelle ligne comme un embranchement à chacune de ses extrémités, l'autre étant supposée en impasse, faire le calcul dans les deux cas et prendre la moyenne des résultats obtenus ; on ajouterait ensuite le trafic de transit, qu'on devrait évaluer à part.

La méthode de M. Michel a été modifiée et complétée par M. Cossmann, ingénieur à la compagnie du Nord, qui a publié à ce sujet un intéressant article dans la *Revue générale des Chemins de fer* (janvier 1879).

M. Cossmann fait remarquer, en premier lieu, que le chiffre de la population réellement desservie par une station n'est pas toujours proportionnel au chiffre de la population agglomérée, et qu'en appliquant les coefficients m et n à cette dernière, on peut quelquefois trouver des résultats éloignés de la vérité.

Il ajoute qu'il n'est pas toujours exact de supposer que tout le mouvement de la ligne doit dépasser l'embranchement, attendu qu'il y a toujours à considérer, sur une ligne quelconque, deux sortes de trafics, savoir : le trafic intérieur et le trafic avec les localités situées au delà de l'embranchement. En négligeant le premier, qui existe toutes les fois que la ligne est appelée à

desservir un ou plusieurs centres d'une certaine importance, on est exposé à trouver un résultat trop fort : 1° parce qu'un certain nombre de voyages sont à destination et en provenance des diverses stations de la ligne et sont, par suite, effectués à une petite distance ; 2° parce que, dans le trafic intérieur, les arrivages d'une station sont les expéditions d'une autre et que par suite il ne faut pas, pour les relations résultant de ce trafic, doubler le chiffre obtenu pour tenir compte du retour.

M. Cossmann propose dès lors de modifier la méthode de M. Michel et de l'appliquer de la manière suivante, d'après des notes et observations de M. Sartiaux, chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord :

« On se procure une bonne carte indiquant le tracé de la ligne à construire, les voies ferrées existant aux environs, dans un rayon de 8 à 10 kilomètres, les voies de communication, routes et chemins de toute nature, les communes que desservent les gares des chemins de fer existants et celles que desserviront les gares de la ligne projetée. Puis on trace les chemins conduisant de ces communes aux gares, en noir pour l'ancien itinéraire, en rouge pour le nouveau ; il est facile alors, par la comparaison de la longueur de ces itinéraires, des facilités d'accès qu'ils présentent et des réductions de parcours auxquelles ils paraissent devoir donner lieu, de faire le compte de la population desservie, pour chaque gare, dans l'ancien état de choses et dans le nouveau ; on inscrit ce résultat à côté du nom de la station.

« On recherche ensuite, pour celles de ces stations qui existent déjà, le nombre de voyageurs expédiés et la demi-somme des expéditions et des arrivages en tonnes de marchandises pendant un an, en ayant soin, comme le fait d'ailleurs M. Michel, de distraire du mouvement des marchandises celui qui serait afférent à des usines importantes, dont les transports exceptionnels fausseraient le chiffre de la moyenne caractéristique du mouvement de la contrée.

« On totalise ces résultats en séparant les voyageurs des marchandises, et l'on divise chacun d'eux par le chiffre total de la population que desservaient anciennement ces stations ; on obtient ainsi *le coefficient de transport de la contrée*, en nombre de voyageurs et en tonnes.

« Lorsqu'au lieu de prendre seulement la population de la localité-gare, on tient compte des communes réellement desservies par chaque station, ces chiffres s'écartent peu des moyennes suivantes :

« 2 à 4 voyageurs par habitant et par an ;

« 1 à 2 tonnes par habitant et par an.

Quant au mouvement industriel de quelques usines importantes, telles que les transports des sucreries, des usines métallurgiques, etc., on doit le compter à part. »

Cela posé, il y a trois cas à distinguer : 1° la ligne étant en impasse ne

renferme aucun centre de population pouvant donner lieu à un trafic intérieur important ; 2° la ligne, en impasse, contient un ou plusieurs centres d'une certaine importance ; 3° la ligne est reliée à ses deux extrémités.

1er CAS. LIGNE EN IMPASSE SANS TRAFIC INTÉRIEUR. — Soient v et t les coefficients de transport de la contrée, établis comme nous venons de le dire, pour les voyageurs et les marchandises.

Soient p_1, p_2, p_3,... etc., les populations réellement desservies par chaque station,

et l_1, l_2, l_3,... etc., les distances de ces stations au point d'embranchement.

Le chemin projeté aura un mouvement de

$$2\,(p_1l_1 + p_2l_2 + p_3l_3 + \ldots\ldots) \times v$$

voyageurs kilométriques,

et de

$$2\,(p_1l_1 + p_2l_2 + p_3l_3 \ldots\ldots\ldots) \times t$$

tonnes kilométriques de marchandises ;

ce qui, en posant

$$p_1l_1 + p_2l_2 + p_3l_3 \ldots\ldots = \Sigma\, pl,$$

peut s'écrire plus simplement

$$2v\,\Sigma\, pl$$
$$2t\,\Sigma\, pl.$$

Le coefficient 2 introduit dans les formules est destiné à tenir compte de l'aller et du retour.

Si r et r' sont les tarifs perçus pour les voyageurs et les marchandises, impôt déduit, la recette brute de la ligne sera

$$R = 2\,(vr + tr')\,\Sigma\, pl.$$

et, si L désigne la longueur totale de l'embranchement, la recette kilométrique sera

$$K = \frac{2\,(vr + tr')\,\Sigma\, pl}{L}.$$

On voit que, dans ce cas, le calcul ne diffère de celui de M. Michel que par la détermination des coefficients de transport de la contrée, v et t.

2e CAS. LIGNE EN IMPASSE AVEC TRAFIC INTÉRIEUR. — Si l'embranchement dessert un centre assez important, tel qu'un chef-lieu de canton donnant lieu à un mouvement intérieur entre les diverses stations de la ligne, il faut alors diviser en deux groupes les habitants desservis par chaque station. Le premier correspondra aux transports ayant leur origine ou leur destination en

dehors de la ligne, le second à ceux qui se font entre le chef-lieu de canton et les diverses stations de la ligne.

Pour faire cette distinction le plus exactement possible, on consultera les registres des services de voitures qui existent dans la contrée et, si les écritures de ces registres sont régulièrement tenues, on aura, pour chaque station projetée, le rapport entre le trafic *au delà* et le trafic intérieur.

Si, pour une population p desservie par une gare, on trouve que αp habitants ont leurs relations au delà de l'embranchement et que $(1 - \alpha)\ p$ habitants les ont avec le chef-lieu de canton situé à une distance λ, au lieu de prendre pour cette station le produit pl, on prendra

$$\alpha\, pl + (1 - \alpha)\, p\lambda.$$

On aura donc pour la recette brute de la ligne :

$$R = 2\,(vr + tr')\,[\alpha\,\Sigma\, pl + (1 - \alpha)\,\Sigma p\lambda].$$

Dans les deux cas précédents, s'il existe un mouvement industriel résultant d'usines importantes, il faut le compter à part.

3e CAS. LIGNE RELIÉE A SES DEUX EXTRÉMITÉS. — Dans ce cas, il faut tenir compte, d'une part, du trafic intérieur, s'il y en a un, et, d'autre part, du trafic d'au delà vers les deux extrémités. Pour faire la distinction de ces différents mouvements, on doit encore s'adresser aux services de voitures qui existent dans la région et tâcher de connaître, pour chaque gare projetée, la fraction de la population desservie qui va vers une extrémité de l'embranchement, celle qui se dirige vers l'autre extrémité et enfin le surplus dont les relations sont avec le chef-lieu de canton.

Soit, pour une gare, α la première fraction qui utilise la ligne sur une longueur l; soit β, la seconde, empruntant la ligne sur une longueur $L - l$; le surplus, soit $1 - \alpha - \beta$, aura ses relations avec le chef-lieu situé à la distance λ. On aura donc, pour la recette brute :

$$R = 2\,(vr + tr')\,[\alpha\,\Sigma\, pl + \beta\,\Sigma\, p\,(L - l) + (1 - \alpha - \beta)\,\Sigma p\,\lambda].$$

En outre, la ligne étant reliée à ses deux extrémités peut comporter un certain trafic de transit, dont la formule précédente ne rend pas compte ; il faudra nécessairement l'évaluer à part.

La méthode que nous venons d'exposer d'après M. Cossmann doit donner, quand elle est convenablement appliquée, des résultats plus exacts que la méthode primitive de M. Michel, puisqu'elle serre de plus près la réalité des faits et qu'elle suppose l'emploi de coefficients de transports relevés dans la région même où doit être établie la nouvelle ligne. Mais il ne faut pas se dissimuler qu'il y a bien des cas où elle est d'une application difficile, parce que

les renseignements précis font défaut en ce qui concerne la répartition du mouvement des voyageurs dans les différentes directions.

Dans ce cas, on peut soit appliquer la méthode primitive, soit opérer de la manière suivante : on prend la recette kilométrique d'un chemin de fer voisin, en ayant soin d'en déduire l'impôt, la part relative au transit et celle qui provient des usines ou des industries importantes, et on divise cette recette par le nombre d'habitants desservis par cette ligne. On a ainsi un coefficient qu'on peut appliquer avec une certaine vraisemblance à la ligne projetée ; on multiplie par ce coefficient la population totale que doit desservir ladite ligne et on a ainsi la recette kilométrique probable, non compris celle qui peut provenir du transit ou des usines importantes, qu'il faut toujours évaluer à part.

Quelle que soit la méthode employée, il ne faut pas s'étonner si elle conduit à une recette généralement supérieure à celle qu'on réalise pendant les premières années de l'exploitation de la ligne ; il ne saurait en être autrement, puisque les coefficients dont on se sert sont empruntés à des lignes ouvertes depuis assez longtemps. Ce n'est qu'après un certain nombre d'années d'exploitation, quatre ou cinq ans au moins, qu'on peut espérer voir se réaliser le trafic prévu par les méthodes ci-dessus. On admet, en général, que, pendant cette première période de l'existence d'une ligne, son trafic augmente annuellement de 5,6 ou 7 p. 100 ; que, pendant les quatre ou cinq années qui suivent, l'augmentation n'est plus que de 3,4 ou 5 p. 100 et qu'elle finit par se réduire à 2 ou 3 p. 100 ou même par être nulle.

Méthode de M. Baume. — Nous terminons ce chapitre en faisant connaître un procédé très simple indiqué en 1878 par M. Baume alors ingénieur des ponts et chaussées, pour évaluer la recette probable d'un chemin de fer agricole dans les premières années de l'exploitation. Il est extrait d'une *Études des chemins de fer d'intérêt local*, publiée par les *Annales des ponts et chaussées* de novembre 1878.

D'après les relevés faits par l'auteur sur un certain nombre d'embranchements en exploitation, le facteur qui influe le plus sur la recette d'un chemin agricole est l'importance de la ville située sur la grande ligne à laquelle il se soude.

Quand cette ville a une population de 3 000 à 4 000 habitants, la recette annuelle ne dépasse pas, en général, dans les premières années, 10 francs par habitant de la population totale desservie par la nouvelle ligne.

Si la ville, tête d'embranchement, a une population de 20 000 habitants et au-dessus, on peut admettre pour la ligne agricole une recette d'environ 20 francs par habitant de la région traversée.

Enfin, si la ligne agricole aboutit à l'une des huit ou dix grandes villes de France, telles que Marseille, Lyon, Bordeaux, etc., on peut admettre une recette de 30 francs par habitant sur la ligne projetée.

Les chiffres qu'on obtiendra ainsi donneront la recette probable dans les premières années, avec une approximation suffisante pour éviter tout mécompte quand les lignes agricoles seront livrées à l'exploitation.

LIVRE III

SIGNAUX ET ENCLENCHEMENTS
DÉPENSES DE LA SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE PREMIER

CODE DES SIGNAUX

Les signaux sont le langage des chemins de fer pour les trains en marche ; c'est par leur emploi qu'on indique aux agents chargés de l'exploitation si la voie est libre ou occupée, ou, plus généralement, quel est l'état de la voie au point de vue de la circulation des trains. Divers moyens sont employés dans ce but, mais ils s'adressent tous soit aux yeux, soit aux oreilles, de sorte qu'il existe des signaux optiques et des signaux acoustiques ; les premiers sont infiniment plus nombreux que les seconds.

Il est à peine besoin de faire remarquer que, pour assurer la sécurité de l'exploitation, le langage de convention que représentent les signaux doit être clair et précis, afin que les agents puissent obéir sans la moindre hésitation aux ordres qui leur sont donnés de cette manière ; cette condition a toujours été remplie sur tous les chemins de fer. Mais ce qui paraîtra sans doute extraordinaire, c'est que le langage des signaux n'ait pas toujours eu, en France, la même signification sur tous les réseaux et que, dans une question où l'uniformité est si nécessaire, chaque compagnie ait pu avoir ses règles spéciales. C'est cependant ce qui a eu lieu pendant fort longtemps et ce n'est qu'en 1885 qu'un arrêté du ministre des Travaux publics a institué un Code uniforme des signaux échangés entre les agents des trains et les agents de la voie et des gares.

Avant cette époque, il n'y avait guère qu'un point commun dans les systèmes de signaux adoptés par les diverses compagnies, c'était le choix des couleurs. Partout le rouge signifiait *Arrêt*, le vert *Ralentissement* et le blanc

ou le signal effacé *Voie libre*. Mais, en dehors de ces indications générales, des différences considérables existaient d'un réseau à l'autre. Ainsi le mot *Arrêt* lui-même, le plus important peut-être dans une réglementation de cette nature, n'avait pas partout la même signification : à la compagnie d'Orléans, il signifiait commandement absolu de s'arrêter; au Nord, c'était seulement pour le mécanicien l'ordre de modérer sa vitesse et de continuer à marcher avec prudence, de manière à pouvoir s'arrêter au premier obstacle ; à la compagnie P.-L.-M., il commandait l'arrêt momentané, mais avec faculté de reprendre sa marche dans certaines conditions, etc. Ces divergences ont pris fin par l'institution du Code des signaux du 15 novembre 1885, qui a réalisé un important progrès au point de vue de l'exploitation des chemins de fer.

Il y avait fort longtemps d'ailleurs que les inconvénients de l'ancien état de choses avaient été signalés ; déjà en 1857 une commission d'enquête, instituée pour étudier « les moyens de garantir la régularité et la sûreté de l'exploitation des chemins de fer », s'était préoccupée des moyens d'y remédier et on trouve dans son rapport le vœu « que les compagnies adoptent, pour tout ce qui concerne la sécurité publique, une espèce de langue universelle, des signes identiques parlant aux yeux de tous et qui, rapidement compris et appris même par les personnes étrangères aux chemins de fer, pourraient prévenir de nombreux accidents, surtout aux passages à niveau et aux stations ».

Malgré cet avis, la diversité a continué de régner dans les signaux des compagnies et il a fallu que la guerre 1870-1871 fît voir l'importance du rôle des chemins de fer au point de vue militaire pour qu'on se décidât à uniformiser les signaux et les règles de la circulation des trains, mais seulement pour les transports stratégiques ; un ordre de service a été arrêté dans ce but et annexé au règlement du 1er juillet 1874 sur les transports militaires. Ce n'est qu'en 1885 qu'une réglementation est intervenue en ce qui concerne les transports ordinaires en temps de paix. Demandée en 1882 par la Chambre des députés, étudiée et préparée ensuite par le Conseil d'Etat, cette importante mesure a été proposée à l'approbation du ministre des Travaux publics par M. Picard, directeur général des ponts et chaussées, des mines et des chemins de fer, et réalisée par un arrêté ministériel du 15 novembre 1885.

Il y a lieu de remarquer toutefois que, conformément aux conclusions du Conseil d'État et du Comité de l'exploitation technique, c'est seulement le *langage* des signaux qu'on a entendu rendre uniforme.

« Il convient de distinguer, en effet, en ce qui concerne les signaux :

« 1° Les apparences ou les sons qu'ils sont destinés à produire, ainsi que la signification à y attacher ;

« 2° Leur structure et les moyens mécaniques par lesquels on les manœuvre ;

« 3° Les règles suivant lesquelles ils sont placés et répartis.

« On ne saurait, sans fermer la porte au progrès, réglementer tous les détails des dispositions mécaniques ; ce serait d'ailleurs une œuvre sans utilité sérieuse.

« On ne pourrait davantage soumettre à des principes absolus, à des formules invariables, la répartition des signaux sur les diverses lignes ; cette répartition dépend notamment du profil et du tracé du chemin de fer, ainsi que des conditions du trafic.

« Seule, l'uniformisation du sens à attribuer aux apparences ou aux sons, c'est-à-dire du *langage* des signaux, présente un réel intérêt[1]. »

On ne saurait mieux dire : il est indispensable, d'une part, de laisser aux compagnies, sous le contrôle de l'État, le soin de régler les conditions de construction et de manœuvre des appareils, ainsi que leur répartition d'après le profil et le trafic de chaque ligne ; mais il est non moins indispensable que le langage des signaux, c'est-à-dire le sens de leurs indications, soit le même dans toute la France. C'est ce résultat qui a été poursuivi et atteint par le Code des signaux. Ajoutons que cette réglementation est également un fait accompli en Allemagne, en Autriche-Hongrie, en Suisse et même en Angleterre, qui est cependant la terre classique de la liberté industrielle. Elle a le grand avantage d'éviter un nouvel apprentissage aux agents qui passent d'un réseau à un autre et elle dispense de la connaissance d'un double langage ceux qui circulent sur deux réseaux à la fois, ce qui est assurément un moyen d'augmenter la sécurité de la circulation.

Ajoutons enfin qu'on a laissé en dehors de la réglementation :

1° Les signaux de cloches électriques de voie unique, qui n'intéressent pas directement les agents des trains et pour lesquels l'uniformisation du langage n'eût pu être accomplie sans une transformation profonde de tous les appareils du réseau du Nord ;

2° Les signaux d'annonce des circulations extraordinaires, qui n'ont qu'une importance secondaire ;

3° Les signaux de manœuvres à la machine, dont la réglementation très complexe n'a pas paru susceptible d'être faite d'après des bases solides et consacrées par l'expérience.

En raison de l'intérêt que présente cette question, nous croyons devoir reproduire ici en entier les dispositions du Code des signaux, bien qu'un certain nombre d'entre elles concernent plus spécialement le service du Mouvement.

Leur connaissance contribuera à mettre de la clarté dans l'exposition des systèmes employés pour réaliser le langage conventionnel qu'il a inscrit.

[1] Rapport de M. Picard, 14 novembre 1885.

CODE DES SIGNAUX

TITRE I

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

ARTICLE PREMIER. — Sont régis par les dispositions suivantes les signaux échangés entre les agents des trains et les agents de la voie ou des gares.

Les règlements spéciaux à chaque compagnie ne pourront contenir aucune disposition contraire.

Les compagnies pourront d'ailleurs être autorisées par le ministre des Travaux publics à employer, à titre d'essai, des signaux autres que ceux qui sont prévus et définis au présent arrêté.

TITRE II

SIGNAUX DE LA VOIE

SECTION 1. — GÉNÉRALITÉS

ART. 2. — Les *signaux de la voie*, c'est-à-dire les signaux faits de la voie ou des stations aux agents des trains ou des machines, sont destinés, soit à indiquer la *voie libre*, soit à commander l'*arrêt* ou le *ralentissement*, soit à donner la *direction*.

Dans tous les cas, l'absence de signal indique que la voie est libre.

Les signaux sont *mobiles*, c'est-à-dire susceptibles d'être transportés et employés en un point quelconque, ou *fixes*, c'est-à-dire établis à demeure en un point déterminé.

ART. 3. — Le signal de *ralentissement* fait à des trains en pleine marche indique que la vitesse effective doit être réduite de façon à ne pas dépasser un maximum de 30 kilomètres à l'heure pour les trains de voyageurs, et de 15 kilomètres pour les trains de marchandises.

SECTION 2. — SIGNAUX MOBILES

ART. 4. — Les signaux mobiles ordinaires sont faits :

Le jour, avec des drapeaux, des guidons, un objet quelconque ou le bras ;

La nuit ou par temps de brouillard épais, avec des lanternes à feu blanc ou de couleur ;

Le jour comme la nuit, avec des pétards.

ART. 5. — La *voie libre* peut être indiquée en présentant aux trains :

Le jour, le drapeau roulé ou le bras étendu horizontalement dans la direction suivie par le train ;

La nuit, le feu blanc.

ART. 6. — Le drapeau rouge déployé, tenu à la main par un agent, commande l'*arrêt immédiat*.

A défaut de drapeau rouge, l'arrêt est commandé soit en agitant vivement un objet quelconque, soit en élevant les bras de toute leur hauteur.

Le feu rouge commande l'*arrêt immédiat*.

A défaut de feu rouge, l'arrêt est commandé par toute lumière vivement agitée.

ART. 7. — Le drapeau vert déployé, ou le guidon vert, commande le ralentissement.

Le feu vert commande le ralentissement.

ART. 8. — En cas de ralentissements accidentels, comme ceux nécessités par les travaux ou l'état de la voie, un drapeau roulé, un guidon blanc ou un feu blanc indique le point à partir duquel le ralentissement doit cesser.

ART. 9. — Les pétards sont employés pour compléter les signaux optiques mobiles commandant l'arrêt, lorsque, soit de jour, soit de nuit, à raison de troubles atmosphériques ou pour toute autre cause, ces signaux ne pourraient pas être suffisamment perceptibles.

Dans ce cas, on doit placer deux pétards au moins, et trois par temps humide, dont un sur chaque rail à 25 ou 30 mètres d'intervalle et à pareille distance en avant du signal optique qu'ils complètent.

L'emploi des pétards pour compléter les signaux optiques mobiles commandant l'arrêt est obligatoire lorsque, par suite de brouillard ou d'autres troubles atmosphériques, les signaux optiques ne peuvent être distinctement aperçus à 100 mètres de distance.

ART. 10. — En cas de force majeure, des pétards peuvent être employés isolément et indépendamment des signaux optiques, même en l'absence d'un agent posté pour faire les signaux sur place.

Le mécanicien d'un train qui rencontre des pétards placés dans ces conditions doit se rendre immédiatement maître de la vitesse de son train par tous les moyens à sa disposition et ne plus avancer qu'à une vitesse suffisamment réduite pour être en mesure de s'arrêter dans la partie de voie en vue, s'il se présente un obstacle ou un signal commandant l'arrêt. *Si*, à partir du lieu d'explosion, après un parcours fixé par le règlement de la compagnie, sans qu'il puisse être inférieur à 1 000 mètres, il ne se présente ni obstacle, ni signal commandant l'arrêt, le mécanicien peut reprendre sa vitesse normale.

SECTION 3. — SIGNAUX FIXES

ART. 11. — Les signaux fixes de la voie sont :

Les disques ou signaux ronds ;

Les signaux d'arrêt absolu ;

Les sémaphores ;

Les signaux de ralentissement ;

Les indicateurs de bifurcation et signaux d'avertissement ;

Les signaux indicateurs de direction des aiguilles.

ART. 12. — Le *disque* ou *signal rond* peut prendre deux positions par rapport à la voie qu'il commande : perpendiculaire ou parallèle.

Le disque fermé, c'est-à-dire présentant au train sa face rouge perpendiculaire à la voie, le jour, ou un feu rouge, la nuit, commande l'arrêt.

Le disque effacé, c'est-à-dire disposé parallèlement à la voie, le jour, ou présentant le feu blanc, la nuit, indique que la voie est libre.

Dès qu'un mécanicien aperçoit un disque fermé, il doit se rendre immédiatement maître de la vitesse de son train par tous les moyens à sa disposition et ne plus s'avancer qu'à une vitesse suffisamment réduite pour être en mesure de s'arrêter à temps dans la partie de voie en vue, s'il se présente un obstacle ou un nouveau signal commandant l'arrêt. En tout cas, il ne devra jamais atteindre la première aiguille ou la première traversée de voie protégée par le signal, et ne se remettre en marche qu'après y avoir été autorisé soit par le conducteur chef du train, soit par l'agent de service à la gare ou au poste protégé.

ART. 13. — Le disque ou signal rond doit être suivi d'un poteau indiquant, par une inscription, le point à partir duquel le signal fermé assure une protection efficace.

ART. 14. — Le *signal carré d'arrêt absolu* peut prendre deux positions par rapport à la voie qu'il commande : perpendiculaire ou parallèle.

Le signal présentant au train, le jour, perpendiculairement à la voie, un damier rouge et blanc, et, la nuit, un double feu rouge, commande l'*arrêt absolu*, c'est-à-dire qu'aucun train ou machine ne peut franchir le signal, tant qu'il commande l'arrêt.

Le signal effacé, c'est-à-dire disposé parallèlement à la voie ou présentant, la nuit, un feu blanc, indique que la voie est libre.

ART. 15. — Sur les voies autres que celles suivies par les trains en circulation, le *signal d'arrêt absolu* défini à l'article précédent peut être remplacé, avec l'autorisation du ministre, par un signal carré ou rond à face jaune, présentant, la nuit, un simple feu jaune.

ART. 16. — Le *sémaphore* est un appareil destiné à maintenir entre les trains les intervalles nécessaires.

Il donne ses indications, le jour, par la position du ou des bras dont il est muni ; la nuit, par la couleur des feux qu'il présente.

Le bras qu'on voit à gauche, en regardant le sémaphore vers lequel le train se dirige, s'adresse seul à ce train.

Le jour, le bras étendu horizontalement et présentant sa face rouge commande l'arrêt ; le bras incliné vers le bas, à angle aigu, commande le ralentissement ; le bras rabattu sur le mât indique que la voie est libre.

La nuit, le sémaphore commande : l'arrêt, par un feu donnant en même temps le vert et le rouge ; le ralentissement, par le feu vert. Le feu blanc indique que la voie est libre.

Le signal d'arrêt du sémaphore interdit la circulation au delà du poste ou de la station où le sémaphore est placé, sauf autorisation formelle d'avancer, donnée par le chef de la station ou par celui qui en fait fonctions, au poste ou à la station et dans des conditions particulières indiquées au mécanicien.

ART. 17. — Le *disque de ralentissement* peut prendre deux positions par rapport à la voie qu'il commande.

Le signal présentant au train, le jour, perpendiculairement à la voie, sa face verte et, la nuit, un feu vert, commande le ralentissement indiqué à l'article 3.

Le signal effacé, c'est-à-dire disposé parallèlement à la voie et présentant, la nuit, un feu blanc, indique que la voie est libre.

Des limitations spéciales de vitesse peuvent, dans des cas déterminés par le ministre, être indiquées par des tableaux blancs, éclairés la nuit, et portant le chiffre auquel la vitesse doit être réduite.

Des tableaux portant en lettres apparentes, éclairées la nuit, le mot ATTENTION, peuvent également, dans les cas fixés par le ministre, être employés pour indiquer aux agents des trains qu'ils doivent redoubler de prudence et d'attention jusqu'à ce que la liberté de la marche leur soit rendue.

ART. 18. — L'*indicateur de bifurcation* est formé, soit par une plaque carrée, peinte en damier vert et blanc, éclairée la nuit par réflexion ou par transparence, soit par une plaque portant le mot BIFUR, éclairée la nuit de la même manière.

Ce signal est disposé, sauf autorisation contraire du ministre, de manière à donner constamment la même indication.

Le damier vert et blanc peut être aussi employé comme *signal d'avertissement* annonçant des signaux carrés d'arrêt absolu qui ne protègent pas des bifurcations.

Le mécanicien qui rencontre, non effacé, l'un des signaux précédents, doit se mettre en mesure de s'arrêter s'il y a lieu, à l'embranchement ou au signal d'arrêt absolu qu'annonce ledit signal.

ART. 19. — Les signaux *indicateurs de direction des aiguilles* se distinguent :

En signaux *de direction*, placés aux aiguilles en pointe où le mécanicien doit préalablement demander la voie utile par le sifflet de la machine ;

Et en signaux *de position*, destinés à renseigner les agents sédentaires sur la direction donnée par les aiguilles, direction que le mécanicien n'a pas à demander par le sifflet de la machine.

ART. 20. — Les signaux de direction des aiguilles, signaux qui ne s'adressent qu'aux trains abordant les aiguilles par la pointe, sont faits par des bras sémaphoriques peints en violet, terminés à leur extrémité en flamme par une double pointe ; ces bras sont disposés, se meuvent et sont éclairés la nuit de la manière suivante :

1° Lorsqu'ils sont mus par des leviers indépendants des aiguilles, mais enclenchés[1] avec elles, ils sont placés sur un mât à des hauteurs différentes, en nombre égal aux directions que peut donner le poste. Le bras le plus élevé correspond à la direction la plus à gauche, le moins élevé à la direction la plus à droite, chacun étant placé de haut en bas, dans l'ordre où se trouvent les directions en allant de gauche à droite. Les bras ne peuvent prendre que deux positions : la position horizontale, indiquant que la direction correspondante n'est pas donnée ; la position inclinée, à angle aigu, indiquant la direction qui est donnée. La nuit, les bras horizontaux présentent le feu violet ; les bras inclinés, à angle aigu, le feu vert ou le feu blanc, suivant que l'on doit ralentir ou que l'on peut passer en vitesse :

2° Lorsqu'ils sont mus automatiquement par l'aiguille, le mât ou indicateur juxtaposé à l'aiguille ne présente jamais qu'un bras apparent. Le bras apparent d'un côté, le jour, ou donnant un feu violet la nuit, indique que la direction correspondant à ce côté est fermée. Le bras effacé le jour, ou un feu blanc, la nuit, indique le côté dont la direction est donnée.

Lorsque plusieurs bifurcations se suivent au même poste, les appareils sont placés dans l'ordre des directions à prendre, et leurs indications doivent être observées dans le même ordre.

TITRE III

SIGNAUX DE TRAINS

SECTION 1. — SIGNAUX ORDINAIRES PORTÉS PAR LES TRAINS

ART. 21. — Tout train, circulant de jour, tant sur les lignes à double voie que sur celles à voie unique, doit porter, à l'arrière du dernier véhicule, un *signal de queue* consistant, soit en une plaque de couleur rouge, soit dans la lanterne d'arrière dont le train doit être muni la nuit.

ART. 22. — Tout train circulant de nuit, tant sur les lignes à double voie que sur celles à voie unique, doit porter à l'avant au moins un feu blanc et à l'arrière un feu rouge, placé

[1] L'enclenchement est une dépendance matérielle établie entre un signal et l'appareil de voie qu'il protège : la question des enclenchements est traitée plus loin au chapitre III.

sur la face arrière du dernier véhicule ; deux autres lanternes doivent être placées de chaque côté, vers la partie supérieure du dernier véhicule, ou, en cas d'impossibilité, de l'un des derniers véhicules ; ces lanternes de côté doivent être disposées de façon à lancer un feu blanc vers l'avant et un feu rouge à l'arrière.

Cette disposition n'est pas obligatoire pour les trains de manœuvre ayant à effectuer un parcours de moins de cinq kilomètres ; dans ce cas, un seul fer rouge à l'arrière suffit.

ART. 23. — Dans tous les cas où aura été établie, en conformité des prescriptions réglementaires sur la matière, une circulation à contre-voie sur une ligne à double voie, tout train ou machine isolée circulant à contre-voie doit porter : le jour, un drapeau rouge déployé à l'avant ; la nuit, un feu rouge en plus du feu blanc ou des feux blancs de l'article précédent.

ART. 24. — Les trains de marchandises peuvent être distingués des trains de voyageurs par l'adjonction d'un feu vert à l'avant.

ART. 25. — Les machines isolées circulant pour le service dans les gares portent, la nuit, un feu blanc à l'avant et un feu blanc à l'arrière.

ART. 26. — Les machines isolées circulant sur la ligne, hors de la protection des signaux des gares, portent la nuit : à l'avant, au moins un feu blanc ; à l'arrière, au moins un feu rouge, sans préjudice du signal d'avant spécial au cas de circulation à contre-voie sur une ligne à double voie.

ART. 27. — Les compagnies peuvent, en se conformant à leurs règlements spéciaux approuvés par le ministre, distinguer la direction des trains ou machines par la position relative assignée aux feux d'avant et par l'addition de feux supplémentaires. Ces feux supplémentaires peuvent être blancs ou présenter toute couleur autre que le rouge.

SECTION 2. — SIGNAUX DU MÉCANICIEN

ART. 28. — Le mécanicien communique avec les agents des trains ou de la voie par le sifflet de sa machine.

Un coup prolongé appelle l'attention et annonce la mise en mouvement.

Aux bifurcations, à l'approche des aiguilles qui doivent être abordées par la pointe, le mécanicien demande la voie en donnant le nombre de coups de sifflet prolongés correspondant au rang qu'occupe la voie qu'il doit prendre, en comptant à partir de la gauche, savoir :

Un coup pour prendre la première voie ;

Deux coups pour prendre la deuxième voie ;

Trois coups pour prendre la troisième voie ;

Quatre coups pour prendre la quatrième voie.

Deux coups de sifflet brefs et saccadés ordonnent de serrer les freins ; un coup bref, de les desserrer.

SECTION 3. — SIGNAUX DES CONDUCTEURS DE TRAINS

ART. 29. — Le train étant en mouvement, le conducteur de tête communique avec le mécanicien par la cloche ou le timbre du tender.

Un coup de cloche ou de timbre commande l'arrêt.

ART. 30. — Les conducteurs intermédiaires signalent l'arrêt au conducteur de tête et au mécanicien, comme aux agents de la voie, en agitant à l'extérieur de leur fourgon ou vigie un drapeau rouge déployé ou un feu rouge tourné vers l'avant.

Le conducteur de tête, sur le vu de ce signal, le répète au mécanicien en sonnant la cloche ou le timbre du tender.

Tout agent de la voie qui aperçoit à temps un pareil signal doit faire immédiatement le signal d'arrêt au mécanicien, et, si celui-ci ne l'a pas aperçu, employer tous les moyens à sa disposition pour faire présenter utilement au train le signal d'arrêt par l'agent de la voie ou le poste le plus rapproché, dans le sens de la marche du train.

TITRE IV

DISPOSITIONS SPÉCIALES

SECTION 1. — SIGNAL DE DÉPART ET D'ARRÊT DES TRAINS

ART. 31. — L'ordre de départ d'un train est donné au conducteur de tête par le chef de gare ou son représentant au moyen d'un coup de sifflet de poche. Le conducteur de tête commande à son tour au mécanicien la mise en marche du train au moyen d'un coup de cornet.

Si le train mis en marche doit être aussitôt arrêté pour une cause quelconque, le chef de gare en donne le signal par des coups de sifflet saccadés, et le conducteur de tête sonne la cloche ou le timbre du tender.

Le mécanicien doit, dans ce dernier cas, obéir aux coups de sifflet du chef de gare, dès qu'il les entend, alors même que le conducteur de tête ne les aurait pas encore confirmés comme il vient d'être dit.

SECTION 2. — DISPOSITIONS PARTICULIÈRES EN CAS D'EXPLOITATION SUR PLUS DE DEUX VOIES PRINCIPALES

ART. 32. — Si l'exploitation se fait sur plus de deux voies principales, les signaux destinés à chacune des voies devront être placés au voisinage immédiat et à gauche du rail de gauche de ladite voie, dans le sens de la marche des trains, ou au-dessus de cette voie, à l'exception des sémaphores, dont les bras devront tous être placés de façon à être vus les uns au-dessous des autres, les bras les plus élevés s'adressant à la direction la plus à gauche, et les plus bas à la direction la plus à droite, dans le sens de la marche des trains, les bras intermédiaires s'adressant à la direction intermédiaire, s'il y en a une.

TITRE V

DISPOSITIONS TRANSITOIRES

ART. 33. — Les délais dans lesquels les dispositions prescrites par le présent arrêté devront avoir reçu leur complète application seront déterminés, pour chaque réseau, par des décisions ministérielles spéciales.

Nous avons réuni ci-après les types des différents signaux fixes de la voie, dont l'emploi est prescrit par le Code des signaux ; ils sont représentés, avec leurs couleurs réglementaires, par les figures 400 à 408. Tous ces signaux sont des types empruntés au réseau de l'État, sauf l'indicateur de directions des aiguilles (fig. 406), qui est de la compagnie de l'Ouest.

TYPES DE SIGNAUX

INSTITUÉS PAR L'ARRÊTÉ MINISTÉRIEL DU 15 NOVEMBRE 1885

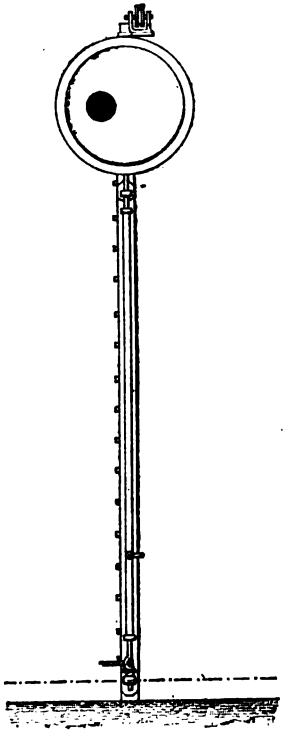


Fig. 400.
Signal avancé.

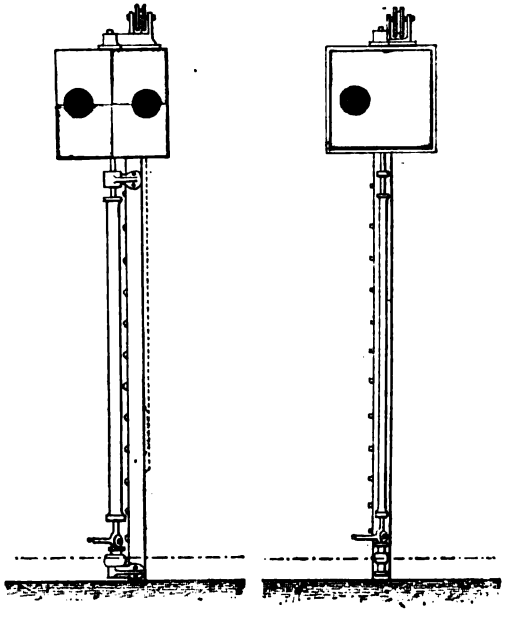


Fig. 401.
Voies principales

Fig. 402.
Voies de service.

Signal d'arrêt absolu.

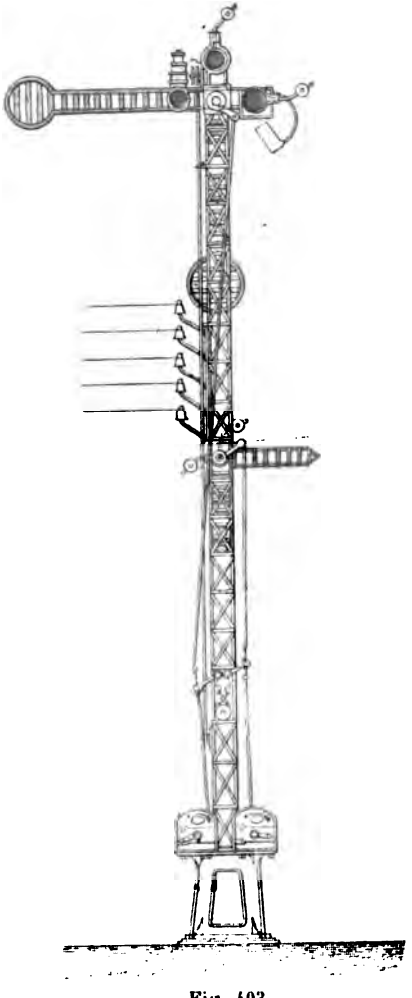


Fig. 403.
Sémaphore.

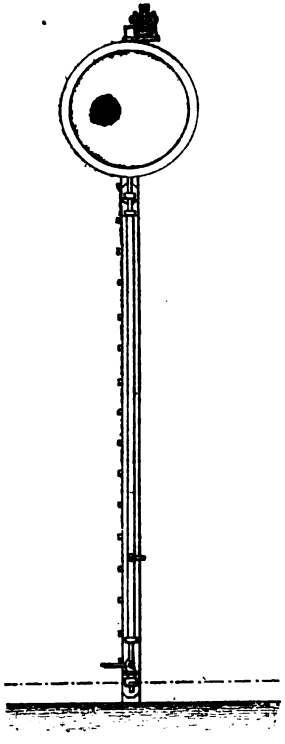


Fig. 404.
Signal de ralentissement.

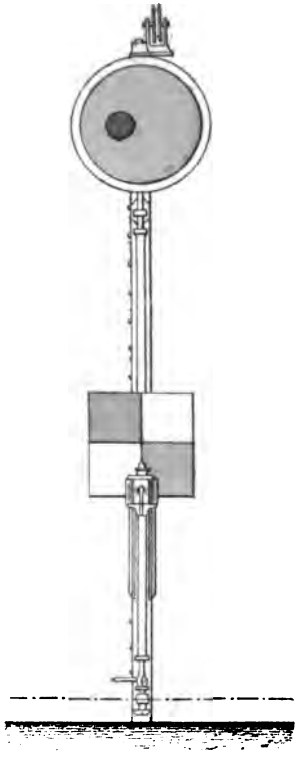


Fig. 405.
Signal avancé avec indicateur de bifurcation.

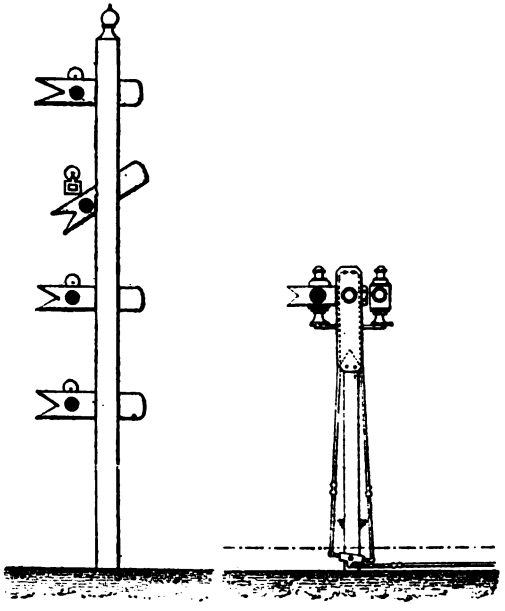


Fig. 406. **Fig. 407.**
Signal indicateur de direction des aiguilles.

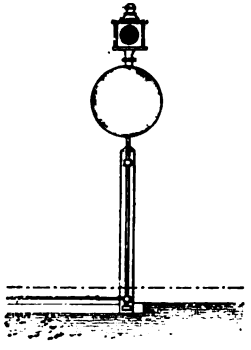


Fig. 408.
Signal indicateur de position des aiguilles.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS SIGNAUX

Distance de protection. — Différentes espèces de signaux. — Signaux à la main. — Drapeaux et lanternes. — Signaux fixes. — Signaux avancés. — Manœuvre des signaux avancés, transmission à un fil, compensateurs. — Manœuvre à deux fils. — Manœuvre à grande distance. — Poteaux limites de protection. — Appareils de contrôle du fonctionnement des disques : sonneries électriques, photoscope. — Disques automoteurs à pédale. — Signaux d'arrêt absolu. — Sémaphores. — Signaux de ralentissement. — Signaux indicateurs de bifurcation. — Signaux d'aiguilles. — Signaux détonants. — Pétards et appareils porte-pétards. — Appareils à contact fixe électrique.

Distance de protection. — Avant d'aborder la description des différents signaux employés sur les chemins de fer, il est nécessaire de faire connaître à quelle distance ils doivent être faits ou placés pour assurer une protection efficace des points qu'ils sont destinés à couvrir.

A l'origine des chemins de fer, les règlements fixaient à 500 mètres la distance de protection à maintenir entre un obstacle et son signal ; mais, quand la vitesse des trains est devenue plus grande, cette distance s'est trouvée insuffisante et l'on a reconnu la nécessité de l'augmenter et de la porter à 800 mètres au moins.

Il est clair, d'ailleurs, que lorsqu'un signal est placé à 800 mètres en avant du point qu'il doit protéger, la distance de protection est, en réalité, supérieure à 800 mètres ; elle s'augmente de l'intervalle compris entre ce signal et le point où l'on commence à l'apercevoir. Ce dernier intervalle varie suivant le tracé de la voie et l'état de l'atmosphère ; mais, si petit qu'il soit, il ajoute toujours à l'efficacité de la distance de protection.

Cette efficacité est différente, suivant que la ligne considérée est en pente ou en rampe ; sur une pente elle est évidemment bien moindre que sur une rampe. Il est donc naturel d'augmenter la distance de protection sur les pentes et de la diminuer sur les rampes.

Les règles suivies à cet égard ne sont pas les mêmes sur toutes les compagnies. Voici celles qui sont admises sur le réseau de l'Etat.

Les *signaux d'arrêt à la main* doivent être faits :

A 800 mètres sur les rampes de plus de 5 millimètres par mètre ;

A 1 000 mètres sur les rampes inférieures, sur les paliers et sur les pentes de 5 millimètres et au-dessous ;

A 1 200 mètres sur les pentes supérieures à 5 millimètres et ne dépassant pas 8 ;

A 1 500 mètres sur les pentes supérieures à 8 millimètres.

En outre, sur les rampes de 10 millimètres, et au-dessus, la distance de protection peut être réduite à moins de 800 mètres, en vertu d'ordres de services spéciaux, s'appliquant à des parties de lignes déterminées.

Les *signaux de ralentissement* sont faits à 800 mètres au moins du point qui nécessite le ralentissement.

Cette distance doit être portée à 1 000 mètres dans les pentes supérieures à 10 millimètres ; par contre, elle peut être réduite à 500 mètres sur les rampes supérieures à 5 millimètres.

Les règles indiquées ci-dessus donnent la distance que l'on doit maintenir entre les obstacles et les signaux faits à la main pour les couvrir ; elle porte le nom de *distance réglementaire de protection*. Nous verrons ultérieurement comment on détermine l'emplacement des disques avancés.

Différentes espèces de signaux. — Au point de vue de leur description, nous distinguerons trois espèces de signaux, savoir :

Les signaux à la main ;

Les signaux fixes ;

Les signaux détonants.

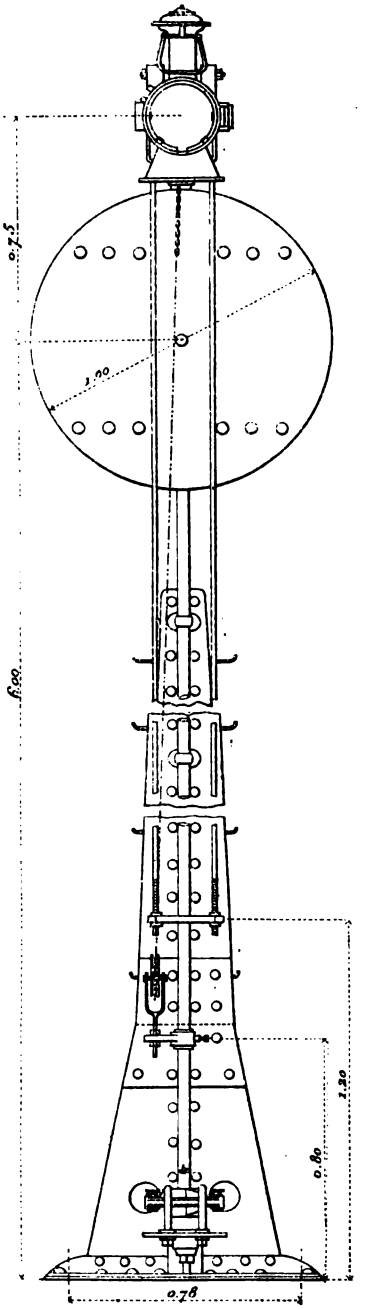
SIGNAUX A LA MAIN

Ces signaux sont : les *drapeaux* pour le jour et les *lanternes* pour la nuit.

Les drapeaux sont rouges ou verts et leur disposition ne nécessite aucune explication spéciale.

Les lanternes doivent pouvoir donner trois feux, un feu blanc, un feu rouge, un feu vert. A cet effet, la lanterne porte trois verres, ayant les couleurs voulues, que l'on présente aux trains suivant les indications qu'on a à leur donner.

Les signaux à la main sont essentiellement portatifs et tous les agents qui peuvent avoir, à un moment donné, à s'en servir sur la voie en sont constamment munis.



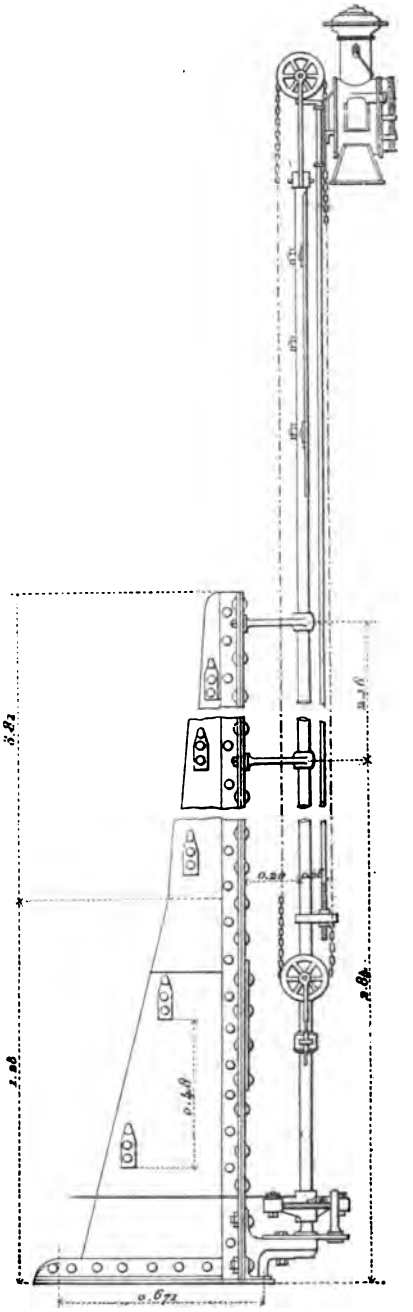


Fig. 409. — Élévation perpendiculaire à la voie. Fig. 410. — Élévation parallèle à la voie.
Signal avancé de la compagnie d'Orléans. — Échelle de 0m,04 par mètre.

SIGNAUX FIXES

Les signaux fixes sont placés aux abords des gares, des bifurcations, des tunnels, aux aiguilles et enfin près de certains postes spéciaux établis entre les gares. Nous distinguerons les *signaux avancés*, les *signaux d'arrêt absolu*, les *sémaphores*, les *signaux de ralentissement*, les *signaux de bifurcation* et les *signaux d'aiguilles*.

Signaux avancés. — Un signal avancé se compose d'un mât vertical d'une hauteur de 5 à 6 mètres, portant à sa partie supérieure un disque rond dont une face est peinte en rouge et qui peut, par une manœuvre convenable, se placer perpendiculairement à la voie pour la fermer, ou parallèlement à elle pour l'ouvrir.

C'est la face du disque peinte en rouge qui se présente aux trains pour fermer la voie dans le jour. La nuit, des indications analogues sont données par une lanterne que porte le signal et qui est munie de deux verres, l'un rouge sur la face parallèle au disque, l'autre blanc sur la face perpendiculaire.

Les détails de la construction de ces signaux varient suivant les compagnies. Les figures 409 et 410 représentent un signal avancé de la compagnie d'Orléans. Le mât est en tôle et la lanterne est placée au-dessus du disque. Sur d'autres réseaux, le mât est en fonte creuse et la lanterne se trouve placée derrière le disque; c'est alors le disque lui-même qui porte un verre rouge qui vient se placer devant la lanterne, quand il est tourné à l'arrêt (fig. 400).

Pour réaliser à distance la rotation de 90° qui est nécessaire pour le fonctionnement de l'appareil, on emploie un levier de manœuvre, placé à la station, et une transmision de mouvement composée d'un ou de deux fils de fer, supportés, dans l'intervalle qui sépare le disque du levier, par des poulies, verticales dans les alignements droits et horizontales dans les courbes. La disposition adoptée est différente suivant que la transmission est à un ou deux fils.

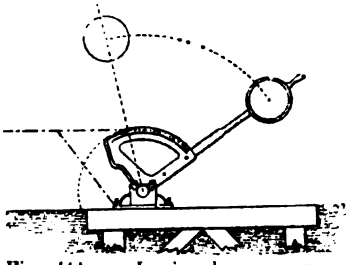


Fig. 411. — Levier de manœuvre. Ouest $\left(\frac{1}{50}\right)$.

Dans la transmission à un fil, la plus employée aujourd'hui, on se sert d'un levier (fig. 411) qui peut prendre deux positions sensiblement rectangulaires et qui est relié par un fil de fer avec une manivelle, calée à angle droit sur la tige du disque. Un contrepoids, placé à l'autre extrémité du fil, au delà du signal, le tient constamment tendu. Dès lors, il suffit d'agir sur le levier de manœuvre et de le faire passer de l'une de ses

positions à la position opposée pour que le disque accomplisse la rotation de 90° qui est nécessaire à son fonctionnement.

La figure 412 représente l'ensemble de la manœuvre d'un signal avancé avec transmission à un fil ; L est le levier de manœuvre, S le disque du signal et C le contrepoids. Les traits pleins représentent le disque ouvert, les traits pointillés, le disque fermé.

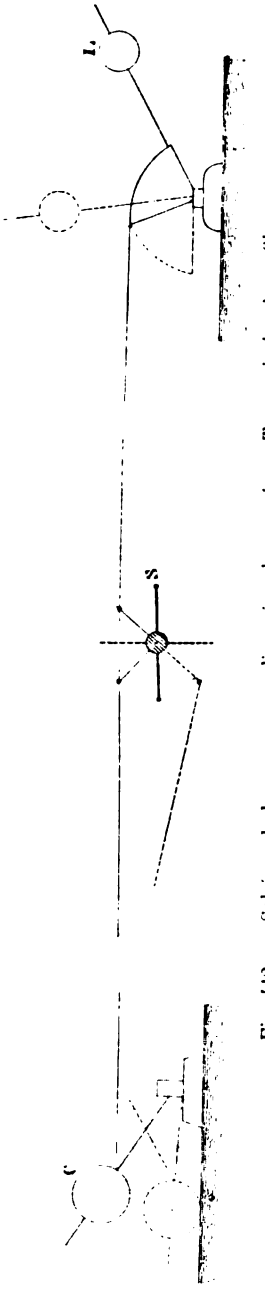


Fig. 412. — Schéma de la manœuvre d'un signal avancé. — Transmission à un fil.

Comme le fil de la transmission a une très grande longueur, les variations de la température ont pour effet de le faire allonger ou raccourcir d'une quantité qui pourrait, dans certains cas, fausser les indications du signal. On remédie à cet inconvénient en plaçant sur le trajet de ce fil, à peu près vers le milieu de sa longueur, un appareil destiné à maintenir sa tension.

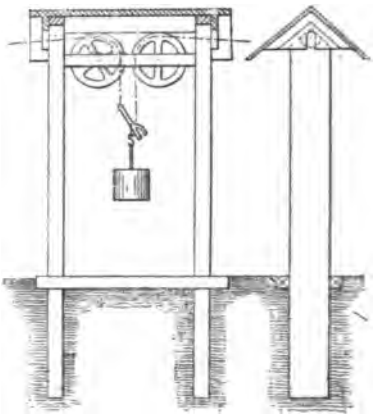


Fig. 413. — Appareils de tension. — Système Robert. (Nord $\frac{1}{58}$).

Celui que représente la figure 413 est le compensateur *Robert*, employé par la compagnie du Nord ; il est composé d'un poids suspendu à un levier à crochet, auquel aboutissent les deux moitiés du fil après avoir passé sur deux poulies.

Ce poids, qui peut se déplacer verticalement entre les deux montants, exerce une tension en sens contraire et toujours la même sur les deux moitiés du fil ; par suite, les variations de la longueur de fil ont simplement pour résultat de faire monter ou descendre le poids, sans influer sur la tension qui reste constante. De plus, en cas de rupture du fil, le disque

se place immédiatement à l'arrêt ; en effet, si la rupture se fait entre le compensateur et le signal, la mise à l'arrêt du disque est produite par l'action du contrepoids de rappel ; si, au contraire, la rupture a lieu entre le compensateur et le levier de manœuvre, le poids tendeur n'étant relié à l'autre partie du fil que par le crochet du levier, celui-ci le laisse échapper et le disque se ferme encore sous l'action de son contrepoids de rappel.

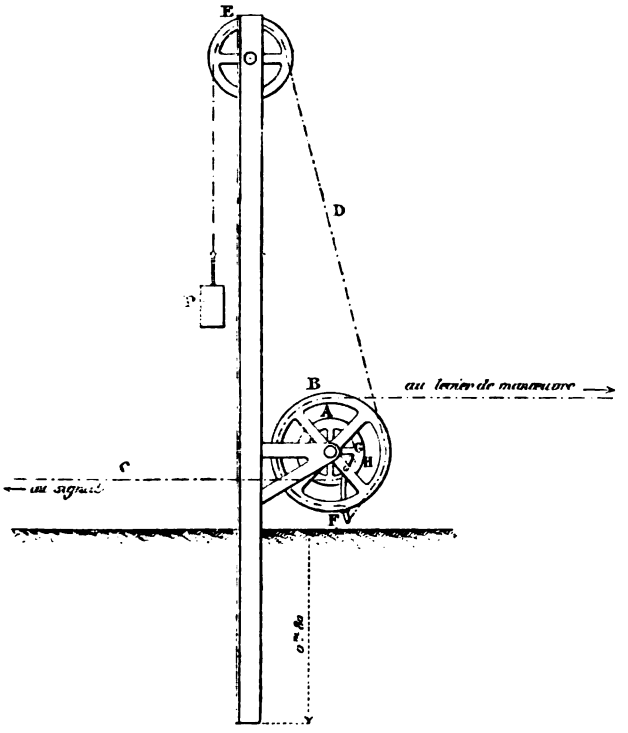


Fig. 414. — Compensateur Dujour. Compagnie P.-L.-M. — Échelle de 0m,03 par mètre.

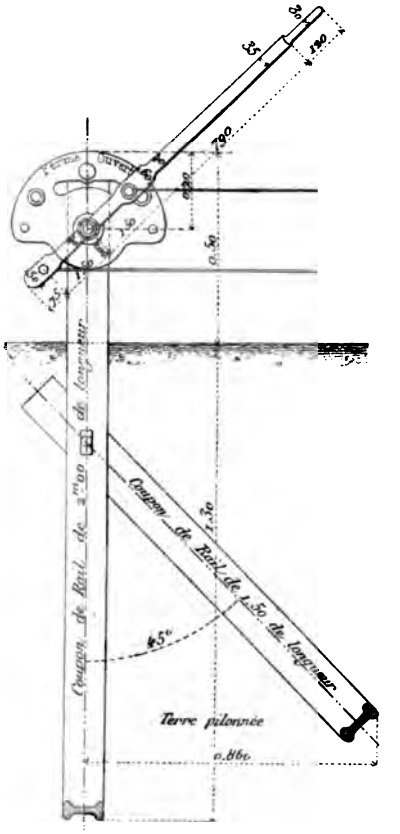


Fig. 415. — Levier de manœuvre pour transmission à deux fils. — Orléans $\left(\frac{1}{20}\right)$.

Le poids de tension doit être suffisant pour faire équilibre aux résistances du fil sur les poulies et au contrepoids de rappel placé à l'extrémité de ce fil.

La compagnie P.-L.-M. emploie un appareil compensateur qui est dû à M. *Dujour*, qui produit également, dans tous les cas de rupture du fil, la fermeture automatique du signal.

Le compensateur Dujour (fig. 414) se compose d'un bâti supportant deux poulies à double gorge de diamètres différents A et B ; sur la plus petite, A, s'enroule la chaîne allant au signal, C ; à la grande, B, est attachée la

chaîne du contrepoids de tension, D, qui passe en outre sur une troisième poulie, E, située à la partie supérieure du bâti, pour permettre au contrepoids P de suivre les mouvements de la transmission, soit sous l'influence de la température, soit par suite de la manœuvre du levier.

Les deux poulies A et B, folles sur leur axe, sont rendues solidaires au moyen d'un crochet FG, articulé à la grande poulie et venant buter sur une saillie H de la petite. La chaîne allant au levier de manœuvre s'enroule sur une gorge de la grande poulie et vient s'attacher à l'extrémité F du crochet. L'autre gorge sert à l'enroulement de la chaîne du contrepoids.

Les choses étant ainsi disposées, la compensation s'effectue sur les poulies sans influer sur la manœuvre.

De plus, si une rupture vient à se produire en un point quelconque de la transmission, l'équilibre se trouve rompu, les deux poulies reprennent leur indépendance et le signal se met à l'arrêt sous la tension du levier de rappel.

Cet appareil, qui facilite beaucoup la manœuvre, permet de reculer les signaux à 2 000, 2 400 et même 2 800 mètres de la gare, de manière à les placer à la distance réglementaire du point à couvrir[1].

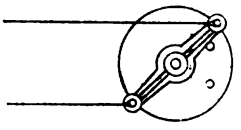


Fig. 416. — Manœuvre du disque avancé (Orléans). Transmission à deux fils.

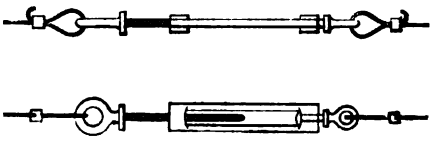


Fig. 417. — Tendeur de la compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{10}\right)$.

Dans le système de transmission à deux fils, qui n'est plus employé en France que par la compagnie d'Orléans, on se sert du levier représenté par la figure 415. Les deux fils de transmission viennent s'y attacher à égale distance de l'axe de rotation et la course du levier est limitée par deux taquets fixés sur le plateau qui le supporte. Quant au disque, il est solidaire d'une tige en fer qui descend le long du mât et qui se termine, à sa partie inférieure, par un collier portant deux bras égaux auxquels sont attachés les fils de manœuvre (fig. 416); des taquets placés sur le collier arrêtent les mouvements du disque aux deux positions qu'il doit occuper. Dès lors, suivant que l'on manœuvre le levier dans un sens ou dans l'autre, c'est l'un ou l'autre des deux fils qui tire le bras du collier et fait manœuvrer le disque.

Pour parer aux effets de la dilatation, on interrompt les fils par des ten-

[1] Voir, au sujet de la manœuvre des signaux à grande distance, un article de M. Jules Michel (*Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1880).

deurs (fig. 417) que l'on serre plus ou moins suivant la température. Le

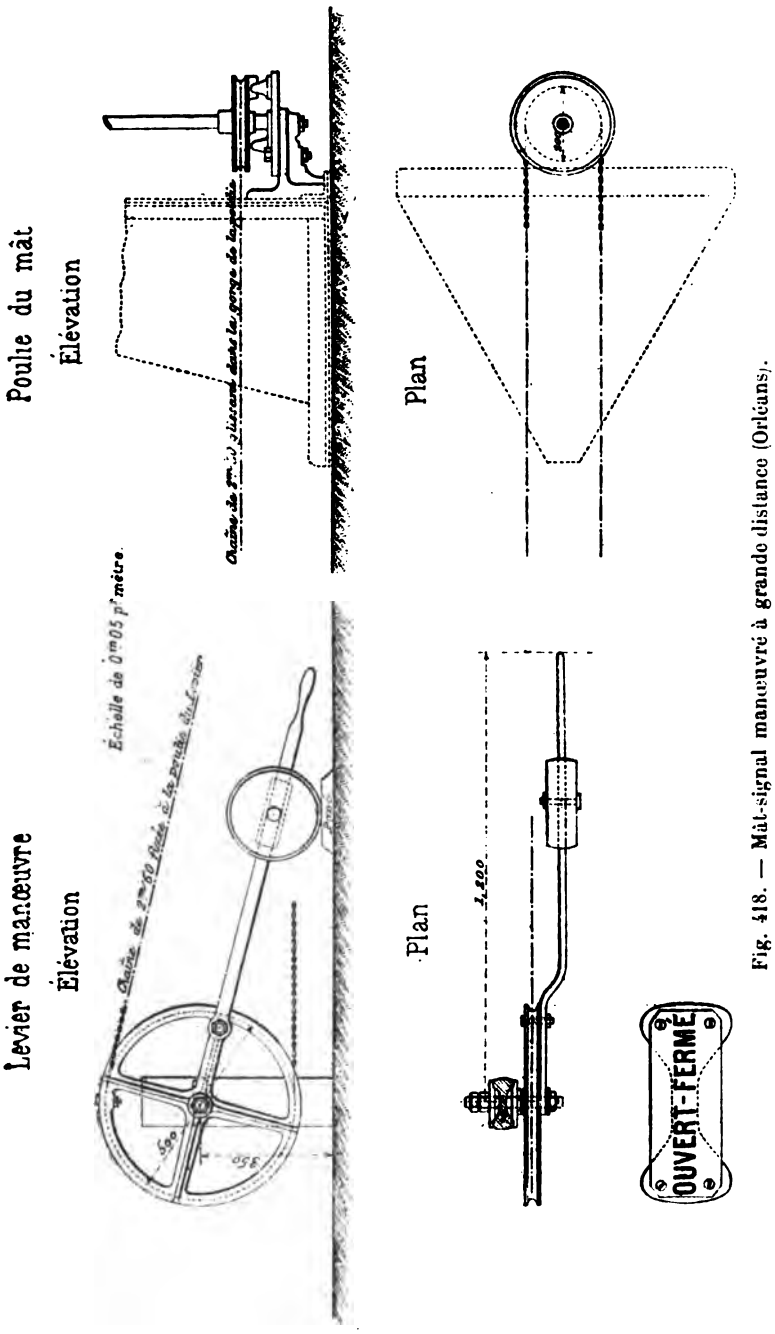


Fig. 418. — Mât-signal manœuvré à grande distance (Orléans).

réglage de cette tension est le point délicat dans la transmission à deux fils:

il faut que le fil soit assez tendu pour que chaque mouvement du levier produise un mouvement semblable à la base du mât de signal et il faut cependant que cette tension ne dépasse pas la limite d'élasticité du fil. Le bon fonctionnement du système dépend des soins apportés à son entretien. A la compagnie d'Orléans, grâce à un entretien très soigné, la transmission à deux fils fonctionne bien jusqu'à une distance de 1 500 mètres environ.

Il est quelquefois nécessaire d'avoir une transmission plus longue; ce cas se présente notamment lorsqu'un tunnel fait suite à une station et que la première tête de cet ouvrage se trouve à moins de 800 mètres de la limite de la station. On est obligé alors de reporter le signal au delà de la deuxième tête du tunnel, ce qui peut conduire à une longueur de transmission notablement supérieure à 1 500 mètres. Avec la transmission à un fil, il n'y a pas de difficulté; la tension du fil reste constante malgré les variations de température. Mais avec la transmission à deux fils, au delà de 1 500 mètres on serait obligé de régler cette tension presque à chaque moment de la journée. On emploie dans ce cas à la compagnie d'Orléans un appareil imaginé par M. Lestrade, chef du bureau des Études de cette compagnie, qui permet de faire la manœuvre à des distances de 3 000 et même de 3 500 mètres (fig. 418).

Au lieu d'un collier à bras, on place à la base du mât une poulie à gorge sur laquelle passe une chaîne en fer; le principe de l'appareil consiste en ce que l'effort nécessaire pour faire glisser cette chaîne sur la poulie est beaucoup plus grand que celui qu'il faut produire pour faire tourner la poulie et par suite le disque. Dès lors, on donne à la chaîne une longueur de 2,50m., plus grande que celle de la gorge de la poulie et on augmente la course du levier de manière qu'elle soit supérieure à ce qui est nécessaire : 1° pour faire manœuvrer le disque ; 2° pour tendre le fil en le supposant dans son état le plus lâche possible. Par suite, quand on fera la manœuvre du levier, cette manœuvre aura pour effet : 1° de tendre le fil; 2° de faire tourner la poulie jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par le heurtoir ; 3° de faire avancer la chaîne sur la poulie, et, comme ce dernier effet ne peut se produire qu'après les deux autres, on sera sûr, lorsque le levier de manœuvre sera à fond de course que le disque aura effectué sa rotation complète.

Les signaux avancés sont employés pour protéger à distance les gares, certains passages à niveau et, en général, tous les points où les trains peuvent rencontrer des obstacles. D'après le Code des signaux, le mécanicien qui aperçoit un disque fermé doit se rendre immédiatement maître de sa vitesse, de manière à pouvoir s'arrêter au premier obstacle ou au premier signal commandant l'arrêt. Pour qu'un train arrêté ou manœuvrant en gare à l'abri d'un signal soit efficacement protégé par lui, il faut établir entre le signal avancé et la gare (art. 13 du Code des signaux) un poteau indiquant,

par une inscription, le point à partir duquel la protection du signal est efficace; ce point est choisi de telle sorte, en tenant compte du profil de la voie, qu'un train lancé à la plus grande vitesse possible sur la section considérée ait toujours la possibilité de s'arrêter avant d'arriver au poteau, s'il a trouvé le disque à l'arrêt. L'inscription de ces poteaux est généralement libellée comme il suit :

LIMITE DE PROTECTION
DU
SIGNAL AVANCÉ

La distance entre le disque et le poteau de protection est au minimum de 400 mètres : elle peut atteindre 1 000 mètres sur les lignes à fortes pentes. Elle est fixée, en général, de telle sorte qu'il y ait toujours au moins, entre le poteau et le point de visibilité du disque, la *distance réglementaire de protection*, telle que nous l'avons définie précédemment.

De là résulte la nécessité d'avoir souvent des transmissions d'une longueur égale ou supérieure à 1 500 mètres. En effet, la longueur nécessaire pour loger un train entre le poteau de protection et la première aiguille de la gare est de 400 mètres environ; il peut donc y avoir 1 400 mètres entre le signal et la première aiguille de la gare et il faut encore ajouter à cette distance celle qui sépare cette aiguille du bâtiment des voyageurs, laquelle peut être de 500 mètres et même plus.

En raison de la grande distance qui sépare le signal avancé du point qu'il doit couvrir, il arrive souvent que ce signal n'est pas visible de ce dernier point; cela se produit, en particulier, toutes les fois que la ligne est en courbe. Or, il est très important qu'un chef de gare ou un aiguilleur de bifurcation puisse savoir à chaque instant quelle est la position du mât avancé qui le protège. Quand on emploie la transmission à deux fils, la position du levier de manœuvre indique sûrement celle du disque; mais, pour qu'on ne soit pas obligé d'aller jusqu'à ce levier, ce qui ferait faire parfois un chemin assez long, on place à proximité de la station un *mât de rappel* bien visible de tous les points, qui est manœuvré de la même manière que le signal avancé et qu'il suffit de regarder pour connaître la position de ce dernier.

Quand on se sert de la transmission à un fil, il peut arriver que la position du levier n'indique pas celle du disque; en effet, si, par suite d'un obstacle quelconque, la portion du fil qui aboutit au mât n'a pas accompli son mouvement, le disque ne fonctionne pas et pourtant rien ne l'indique à

l'agent qui fait la manœuvre, l'autre portion du fil ayant suivi le mouvement du levier sans aucune difficulté. Pour permettre aux agents chargés de la manœuvre d'avoir la certitude que le disque a fonctionné, on installe dans la gare une sonnette électrique qui est mise en mouvement par le signal avancé; tant que le signal est tourné à l'arrêt, la sonnerie fonctionne; dès que le signal est effacé, la sonnerie s'arrête.

Ce résultat s'obtient au moyen d'un courant électrique, qui est établi ou interrompu par un commutateur placé sur le signal, suivant que le disque est fermé ou ouvert. La sonnerie, établie au poste de manœuvre, est une trembleuse ordinaire, disposée de manière à tinter quand le courant passe (disque fermé) et à s'arrêter quand le courant s'interrompt (disque ouvert). Le commutateur et la sonnerie sont réunis par un fil de ligne.

Les sonneries de cette nature ont été appliquées pour la première fois sur le réseau de *Lyon* en 1857. Leur emploi s'en est vite généralisé et elles sont maintenant employées par toutes les compagnies qui se servent de la transmission à un fil.

La pile des sonneries trembleuses peut être placée au pied du disque ou dans la gare. La première disposition adoptée à la compagnie du *Nord* présente un avantage important au point de vue de la sécurité; si, en effet, le fil de ligne vient à être coupé, la sonnerie ne fonctionne pas lorsqu'on met le disque à l'arrêt et le dérangement de l'appareil se trouve indiqué. Au contraire, lorsque la pile est placée dans la gare, la rupture du fil de ligne détermine la fermeture du circuit et la sonnerie tinte, même lorsque le disque n'est pas à l'arrêt.

Ces piles généralement formées de huit éléments Leclanché, sont installées à l'abri de l'air et de l'humidité dans des abris en ciment aggloméré et placées sur des planchettes en chêne à claire-voie enduites d'huile de lin bouillante, afin d'éviter les dérivations dues à des causes diverses; elles ne demandent qu'un entretien peu important.

Le tintement des sonneries trembleuses indique suffisamment pendant le jour au poste qui manœuvre un signal si ce signal a bien fonctionné, mais cette indication n'est pas toujours suffisante la nuit; car, si la lanterne du disque s'est éteinte subitement, le mécanicien peut ne plus apercevoir le signal.

Il est donc intéressant de contrôler la nuit non seulement le fonctionnement d'un signal, mais encore l'état de la lanterne qui l'éclaire. Ce contrôle est obtenu, à la compagnie P.-L.-M., par le *photoscope*, qui est adapté à tous les disques non visibles du poste qui les manœuvre. Cet appareil, qui n'est autre chose qu'un thermomètre métallique, se compose d'une spirale formée de deux métaux juxtaposés (acier et cuivre) et placée horizontalement au-dessus de la flamme dans la cheminée de la lanterne. L'extrémité de cette spirale, qui sort de la cheminée, décrit sous l'influence de la dilata-

tion du métal, lorsqu'il est chauffé, un arc de cercle; dans ce mouvement, elle vient fermer un circuit électrique dans lequel se trouve la sonnerie. L'appareil forme donc un véritable commutateur, fonctionnant par la chaleur. En outre, il est disposé de telle sorte que, lorsque la lanterne est placée en haut du mât et que la lampe est allumée, une double condition doit être remplie pour que la sonnerie se fasse entendre. Il faut : 1° que le disque soit à l'arrêt ; 2° que la lampe soit allumée.

Dans la journée, on abaisse la lanterne et la sonnerie fonctionne dans les mêmes conditions que si le disque n'était par muni du photoscope.

L'expérience a prouvé qu'il suffisait de dix à vingt secondes pour produire l'interruption du courant après l'extinction de la lanterne.

Les autres compagnies se contentent de masquer la lanterne du côté de la gare par un verre bleu, lorsque le disque est ouvert; quand il est fermé le feu blanc de la lanterne se démasque et devient visible de la gare, à la condition que le signal soit lui-même visible de ce point.

Disques automoteurs à pédale. — Afin d'éviter les conséquences désastreuses que peuvent avoir les erreurs ou les oublis commis par les agents dans la manœuvre des signaux, on a cherché depuis longtemps à faire mouvoir ces signaux par les trains eux-mêmes qui se couvrent ainsi à l'arrière sur les lignes à double voie, à l'arrière et à l'avant sur les lignes à voie unique. Mais les appareils de cette nature, *disques automoteurs à pédale* ont pendant longtemps rencontré assez peu de faveur. On faisait contre le principe des signaux automatiques deux objections sérieuses : on disait que l'emploi de ces appareils endort trop facilement la vigilance des agents, qui s'en remettent à eux de la protection des voies sans prendre la peine de s'assurer de leur fonctionnement; on ajoutait que ces systèmes, n'étant pas à l'abri des dérangements, pouvaient amener des accidents tout aussi bien que ceux qui sont manœuvrés par des agents.

Les objections peuvent être levées si les signaux automatiques satisfont aux deux conditions suivantes, indiquées par la Commission d'enquête de 1879-1880 sur les moyens de prévenir les accidents de chemins de fer[1] :

1° Ne point dispenser les agents des manœuvres ordinaires prescrites par des règlements en usage;

2° Présenter, dans l'agencement des divers organes qui les constituent, des dispositions telles que les dérangements, étant aussi rares que possible, soient signalés d'eux-mêmes aux agents dès qu'ils se produisent et ne puissent avoir pour résultat de compromettre la sécurité.

Divers appareils ont été étudiés dans le but de remplir ces deux condi-

[1] Rapport annexe de M. Ledoux.

tions. L'un des plus employés est l'automoteur *Aubine,* adopté par la compagnie P.-L.-M.

Cet appareil a pour but de mettre automatiquement le disque à l'arrêt au moyen d'une pédale actionnée directement par le passage du train; mais la sonnerie avertisseur du disque ne fonctionne que lorsque le levier de ce dernier a été effectivement manœuvré par la gare.

Par suite, d'une part, le train se couvre de lui-même et, d'autre part, l'agent de la gare est néanmoins obligé de faire fonctionner le levier de manœuvre du disque pour avoir, par le tintement de la sonnerie, l'assurance qu'il a bien fonctionné.

L'appareil automoteur proprement dit, installé sur le trajet de la trans-

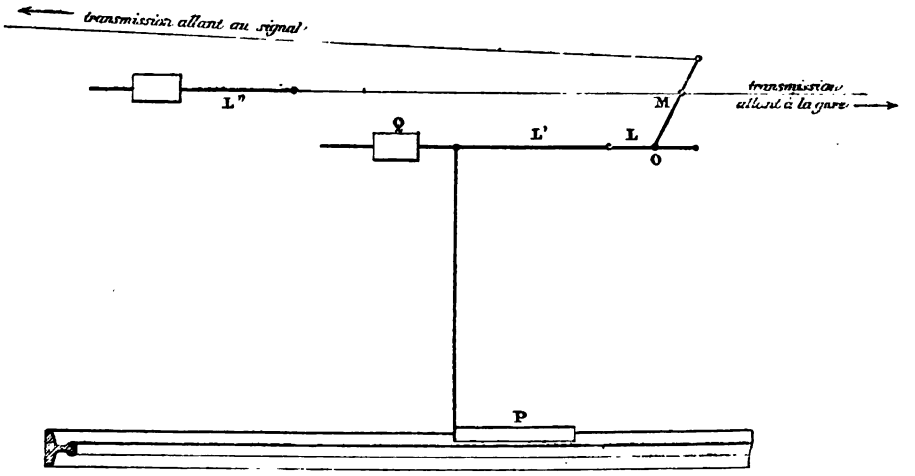


Fig. 419. — Disque automoteur, système Aubine. — Schéma de la disposition de l'appareil. — Plan.

mission de manœuvre du signal à une faible distance de celui-ci, se compose d'un arbre vertical, O, tournant dans une boîte qui abrite l'appareil et portant deux manivelles superposées, M, dont l'une est reliée au fil de transmission du côté de la gare et l'autre au fil de transmission du côté du disque (fig. 419).

La première de ces manivelles est simple ; la seconde est à douille et porte un plateau circulaire qui permet de la rendre solidaire de l'arbre O et, par suite, de la première manivelle. A cet effet, un petit levier L peut osciller dans un plan vertical autour d'un axe traversant l'arbre O; ce levier porte un talon destiné à pénétrer dans une encoche pratiquée dans un plateau de la deuxième manivelle.

Quand le talon est dans l'encoche, cette manivelle devient solidaire de l'arbre O et, par conséquent, tourne avec lui en même temps que la première manivelle, le mouvement de l'arbre lui étant communiqué par le

levier. Quand au contraire ce levier tourne autour de son axe de manière *que le* talon abandonne l'encoche, le mouvement de la manivelle à plateau *devient* indépendant de l'arbre et de la première manivelle.

Une pédale P, placée le long du rail de la voie et équilibrée par un contrepoids Q, peut entraîner en tournant sur son axe un levier L', dont l'extrémité est disposée au-dessous du levier à talon, de manière à le faire osciller et à faire sortir le talon de l'encoche pratiquée dans la manivelle à plateau.

Lorsque la première roue d'un train a touché la pédale, le levier de rappel du disque, L'', met celui-ci à l'arrêt, en entraînant le plateau qui maintient la pédale abaissée et la soustrait, par conséquent, au choc des autres roues du train.

Après le passage du train, le signal est maintenu à l'arrêt par son levier de rappel et il ne peut être effacé que par une manœuvre de la gare. Il faut pour cela que la gare agisse sur le levier de manœuvre du disque comme pour mettre le signal à l'arrêt, et qu'ensuite elle relève ce levier pour effacer le signal ; alors l'appareil automoteur se remet dans sa position primitive et la pédale revient faire saillie sur le rail.

En résumé avec l'automoteur Aubine :

1° Le train se couvre à son passage en mettant le signal à l'arrêt, et celui-ci ne peut être remis à voie libre que par la gare, qui doit préalablement faire la manœuvre de mise à l'arrêt du signal avant de l'effacer ; alors seulement la sonnerie avertisseur du disque fonctionne ;

2° La gare peut manœuvrer le signal comme si l'automoteur n'existait pas.

La compagnie P.-L.-M, a mis en service un grand nombre de disques automoteurs du système Aubine ; ces appareils sont également installés sur les réseaux de l'État et de l'Ouest.

D'autres appareils (systèmes Moreaux, Guillaume, etc.) sont employés dans le même but sur les différents réseaux français.

Signaux d'arrêt absolu. — Indépendamment des signaux à plaque ronde, il est nécessaire d'avoir sur certains points des signaux commandant l'*arrêt absolu ;* on s'en sert pour doubler certains signaux avancés ou pour couvrir, à petite distance, les points tels que les branchements, traversées de voies, etc., qui exigent une protection particulière.

Ces signaux sont de forme carré et ils ne peuvent être franchis sous aucun prétexte, tant qu'ils sont tournés à l'arrêt.

Ceux qui s'adressent aux voies principales (fig. 401) sont peints en damier rouge et blanc sur la face qui, dans la position perpendiculaire à la voie, se présente aux trains ou aux machines se dirigeant vers le point à protéger ; ils sont peints en blanc sur l'autre face. La nuit, la lanterne dont ils sont

munis présente à volonté aux trains ou aux machines un feu blanc quand la voie est libre ou un double feu rouge pour commander l'arrêt. Ceux qui s'adressent aux trains circulant sur les voies de service (fig. 402) sont peints en jaune sur la face qui se présente aux trains; ils donnent, la nuit, un feu jaune quand ils sont à l'arrêt et un feu blanc quand la voie est libre.

Sémaphores. — Les sémaphores sont des appareils au moyen desquels on maintient entre les trains des intervalles prescrits par les règlements du service de l'exploitation. Celui que représente la figure 403 est un type employé par les compagnies du Nord, de l'Orléans, de l'Est et par l'administration des chemins de fer de l'État sur les lignes à double voie exploitées par le *Block-System;* nous en parlerons avec plus de détails quand nous exposerons les règles de ce mode d'exploitation.

Les grands bras qu'il porte à sa partie supérieure s'adressent seuls aux trains; ils sont peints en rouge et commandent l'arrêt pendant le jour, quand ils sont placés horizontalement; pour la nuit, ils portent un feu rouge et un feu vert qui se présentent simultanément pour commander l'arrêt et un feu blanc pour indiquer que la voie est libre. Le petit bras peint en jaune, placé à mi-hauteur du sémaphore, est un signal d'avertissement qui ne concerne que l'agent du sémaphore et qui ne s'adresse pas aux mécaniciens.

La manœuvre de ces appareils se fait au moyen de manettes situées à la base du mât et communiquant par des tringles de fer avec les bras des sémaphores; ils sont d'ailleurs en communication électrique avec les sémaphores du poste suivant, ainsi que nous l'expliquerons à propos du Block-System.

Il existe également d'autres types de sémaphores employés dans le même but que le précédent et dont nous parlerons quand nous nous occuperons du service du Mouvement.

Sur les lignes non exploitées par le Block-System, on emploie des sémaphores, manœuvrés à la main par des manivelles placées à la base du mât et donnant, par la position de leurs bras et la couleur des feux qu'ils portent, des indications analogues aux précédentes.

Signaux de ralentissement. — Lorsqu'il est nécessaire d'imposer aux trains en un certain point de la voie un ralentissement motivé par une cause permanente ou d'une durée prolongée, on emploie, au lieu des signaux mobiles dont nous avons parlé, un signal fixe de ralentissement, formé d'un disque rond peint en vert avec un feu vert pour la nuit (fig. 404).

Ce signal peut être ou complètement fixe ou manœuvré à distance dans les mêmes conditions que les signaux avancés. En général, il prescrit, quand

son disque est placé perpendiculairement à la voie, un ralentissement à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure pour les trains de voyageurs et de 15 kilomètres pour les trains de marchandises. Toutefois, dans certains cas, des limitations de vitesse à des chiffres supérieurs peuvent être autorisées par le ministre; on place alors auprès du signal et transversalement à la voie un tableau blanc, éclairé pendant la nuit, qui porte en chiffres très apparents le nombre de kilomètres auquel la vitesse est limitée.

Enfin, comme précaution supplémentaire, on place quelquefois des *tableaux*, également éclairés la nuit, et portant en lettres apparentes le mot

ATTENTION

pour indiquer aux mécaniciens qu'ils doivent redoubler de prudence.

Signaux indicateurs de bifurcation. — Ces signaux sont placés aux mêmes points que les signaux avancés à plaque ronde qui protègent les bifurcations ; la figure 405 représente ces deux signaux réunis sur le même mât.

Le signal de bifurcation, qui est formé d'une plaque carrée peinte en damier vert et blanc éclairée la nuit, doit donner constamment la même indication ; on le fixe de manière qu'il reste toujours dans une position perpendiculaire à la voie.

Signaux d'aiguilles. — Ils se divisent, comme nous l'avons vu, en signaux de *direction* et en signaux de *position* des aiguilles.

Conformément au Code des signaux, les premiers (fig. 406 et 407) se composent d'un ou plusieurs bras sémaphoriques peints en violet et portant, la nuit, un feu violet indiquant les directions qui sont fermées et un feu blanc faisant connaître celle qui est donnée. Ces signaux sont destinés à faire connaître la direction donnée par les aiguilles prises en pointe, à l'approche desquelles le mécanicien doit demander la voie par le sifflet de sa machine.

Les seconds, dont le Code des signaux n'a pas donné la forme, sont constitués de différentes manières sur les divers réseaux.

Ils sont destinés à rappeler aux aiguilleurs la position des aiguilles dont la manœuvre leur incombe. Ils sont reliés aux aiguilles par une tige qui fait placer le disque parallèlement ou perpendiculairement à la voie, suivant la position des aiguilles.

La figure 408 représente le type adopté par le réseau de l'État aux branchements des voies d'évitement sur la voie directe dans les gares, sur les lignes à voie unique. C'est un disque peint en vert, sur une face, en violet

sur l'autre et surmonté d'une lanterne qui peut donner quatre feux. Le disque effacé, le jour, ou le feu blanc, la nuit, du côté de la pointe des aiguilles, indique que celles-ci sont disposées pour la voie directe. Le disque vert perpendiculaire à la voie, le jour ou le feu vert, la nuit, indique que les aiguilles sont faites pour la voie d'évitement.

Du côté du talon des aiguilles, le disque effacé ou le feu blanc indique la voie directe ; le disque violet ou le feu violet indique la voie d'évitement.

Diverses autres combinaisons sont employées sur les différents réseaux pour réaliser des indications analogues.

SIGNAUX DÉTONANTS

La sécurité que procure l'emploi des signaux dont nous venons de parler résulte de leur visibilité. Or il y a des temps de brouillard et de neige où l'on ne peut voir à quelques pas devant soi et où, par conséquent, la visibilité des signaux optiques devient à peu près nulle. Il est donc indispensable, dans ce cas, d'appuyer le signal optique au moyen d'un signal détonant ou *pétard*, qui se place sur le rail et qui éclate lorsqu'il est écrasé par le passage d'un train.

La détonation d'un pétard commande l'arrêt dans des conditions analogues au disque rouge du signal avancé:

Le Code des signaux prescrit l'emploi des pétards pour compléter les signaux optiques mobiles commandant l'arrêt, toutes les fois que ceux-ci ne peuvent être aperçus distinctement à 100 mètres de distance. Dans ce cas on fixe deux pétards, l'un sur le rail de droite, l'autre sur le rail de gauche, à 25 ou 50 mètres l'un de l'autre et à pareille distance au moins du signal optique; quand le temps est humide, on place un troisième pétard à la même distance. Cette manœuvre est faite, par les temps de brouillard, en avant de tous les signaux avancés qui commandent l'arrêt, par des agents spécialement chargés d'assurer l'efficacité des indications de ces signaux; en outre, sur les lignes de plusieurs compagnies (notamment l'Orléans, l'Ouest et le Nord) les signaux d'arrêt absolu sur la double voie sont munis en tout temps d'appareils *porte-pétards* qui sont en communication avec la tige du disque et sont manœuvrés avec elle; dès que le disque est mis à l'arrêt, deux pétards viennent se placer sur le rail voisin; quand le disque s'efface, les pétards se retirent. Cette double protection en tout temps a pour but de parer à un moment d'oubli et d'inattention de la part des agents des trains.

L'emploi de ces appareils a été recommandé par la Commission d'enquête de 1879-1880, qui a signalé d'une manière générale l'utilité des signaux

détonants, particulièrement la nuit et en cas de brouillard, et a fait remarquer que la sécurité des chemins de fer anglais, par les brouillards les plus intenses et sur les lignes les plus chargées, tient à la règle invariablement suivie de doubler chaque signal fixe à l'arrêt de la présence d'un agent muni d'une lanterne rouge et d'un pétard placé sur le rail [1].

Appareils à contact fixe électrique. — Afin d'empêcher les mécaniciens de passer inattentifs devant un signal à l'arrêt, la compagnie du Nord emploie un appareil à contact fixe électrique, dit *crocodile* [2], qui est placé

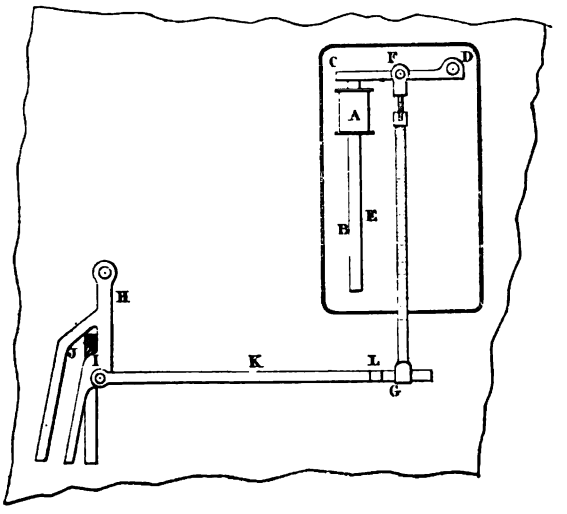


Fig. 420. — Appareil à contact fixe électrique. — Compagnie du Nord.

dans l'axe de la voie en avant du signal dont il doit doubler les indications, et qui sert à déclencher, quand le disque est à l'arrêt, un appareil acoustique placé sur la machine.

Au début cet appareil acoustique était un sifflet électro-moteur imaginé par MM. Lartigue, Forest et Digney, dont le jeu était basé sur l'emploi de l'électro-aimant Hughes; ce sifflet était déclenché et faisait entendre un sifflement prolongé au passage de la machine sur le contact fixe, quand le disque était tourné à l'arrêt. Le sifflement ne cessait de se faire entendre qu'au moment où le mécanicien fermait l'issue de la vapeur; on était donc certain que le signal avait été compris.

[1] Le congrès international des chemins de fer a traité, dans sa session de 1900 (Paris) la question des « Signaux répétiteurs des Signaux optiques ». On trouvera dans les rapports qui ont été rédigés à ce sujet des détails intéressants sur les mesures prescrites sur les différents réseaux pour assurer la sécurité en cas de brouillard, sur les signaux détonants, sur les appareils divers destinés à avertir les mécaniciens de la position des signaux, les aiguilleurs de l'arrivée des trains, etc.

[2] Le nom assez singulier donné à cet appareil lui vient d'une ressemblance lointaine qu'il présente avec une sorte de crocodile accroupi.

La compagnie du Nord ayant, dans la suite, adopté le frein continu à vide, le sifflet électro-automoteur a été remplacé, sur toutes les machines munies de ce frein par un appareil de déclenchement qui permet d'obtenir, en passant devant un disque à l'arrêt, soit un bruit qui avertit le mécanicien, soit le ralentissement, soit même l'arrêt complet du train. Voici comment cet appareil était installé dès 1889 sur 789 machines de la compagnie du Nord; 1000 disques environ étaient munis du crocodile[1].

L'appareil de déclenchement du frein à vide, étudié par MM. E. Delebecque, Lartigue et Bandérali, est renfermé dans une boîte en fonte fixée à la chaudière; il se compose (fig. 420) d'un électro-aimant Hughes, AB, maintenant en contact une armature en fer, qu'un puissant ressort antagoniste tend constamment à séparer de ses pôles. Si l'on vient à faire passer dans les bobines de l'électro-aimant un courant de sens convenable, l'aimantation se trouve détruite en partie et l'armature devenue libre obéit au ressort[2].

A cet effet, cette armature est fixée à l'extrémité d'un levier CD, repoussé en son milieu par un ressort antagoniste E et articulé à une tige FG dont l'extrémité G sort de la boîte et accomplit, au moment du passage du courant, un parcours de 0,01 m. avec une force de 4 kilogrammes environ.

L'appareil mécanique du déclenchement se compose d'une fourchette H portant un plan incliné I, qui soutient le levier J de la valve d'entrée de la vapeur dans l'éjecteur du frein à vide; la fourchette est maintenue par une tige horizontale K appuyée à l'autre extrémité, contre un butoir L. Le mouvement vertical de la tige de déclenchement FG entraîne la tige horizontale K au delà de son butoir et permet à la fourchette de déclencher le levier de la valve d'entrée de la vapeur; cette valve s'ouvre alors et serre le frein.

Les deux sorties du fil de l'électro-aimant sont reliées l'une à la terre par l'intermédiaire des pièces métalliques de la machine, des roues et des rails, l'autre à une brosse métallique isolée, formée d'un faisceau de fils de bronze et placée sous la machine, dans l'axe de la voie, à quelques centimètres au-dessus du niveau des rails.

Sur la voie, à 200 mètres environ en avant du disque, se trouve le contact fixe. Cet appareil se compose d'une poutre en bois portée par deux pieds en fonte et recouverte à sa partie supérieure par une feuille de laiton isolée au moyen de rondelles de porcelaine; sa position est réglée de manière qu'il se trouve au-dessous des pièces fixes les plus basses des machines, mais légèrement au-dessus de l'extrémité inférieure des fils de la brosse métal-

[1] Exposition universelle de Paris, 1889. *Notice de la compagnie du Nord.*

[2] Nous retrouverons une application de cette ingénieuse disposition dans les électro-sémaphores pour Block-System de la compagnie du Nord.

lique ; au passage d'une machine, la brosse frotte donc énergiquement contre le contact fixe. La feuille de laiton est reliée par un fil à l'un des pôles d'une pile spéciale, par l'intermédiaire du commutateur qui fait fonctionner la sonnerie du disque.

Si le disque est effacé, le circuit de la pile n'étant pas complété à défaut de terre, le passage de la brosse d'une machine sur le crocodile ne produit aucun effet. Au contraire, lorsque le disque est à l'arrêt, si une machine passe, le circuit se trouve complété ; le courant électrique déclenche le frein à vide, dont le bruit avertit le mécanicien. Celui-ci, après avoir remis l'appareil électrique dans sa position normale, reste libre de laisser le frein serré ou de le desserrer, suivant qu'il le juge convenable.

Cet appareil permet donc d'actionner directement le frein continu par le disque lui-même, c'est-à-dire par l'agent de la station.

L'expérience a fait reconnaître qu'une longueur de 2 mètres pour le contact fixe, donnant, aux plus grandes vitesses des trains, un courant électrique d'une durée égale à $\frac{1}{10}$ de seconde, suffit pour produire le déclenchement.

L'appareil permet également de mettre le frein sous la main du conducteur chef du train. Pour cela, il suffit de prolonger jusqu'à la machine la communication électrique Prudhomme existant sur le train et d'installer dans chaque fourgon un commutateur spécial, permettant d'envoyer dans l'électro-aimant Hughes un courant de sens convenable pris sur la pile des sonneries du train[1].

Indépendamment des signaux dont nous venons de parler, on rencontre encore sur les chemins de fer un grand nombre d'appareils divers dont notre cadre ne nous permet pas de donner la description. Il y a en outre les appareils spéciaux aux lignes à voie unique, tels que les cloches électriques, les appareils du Block-System, dont nous parlerons quand nous nous occuperons de l'Exploitation[2].

[1] V. pour l'*Intercommunication* et le *Frein à vide* la IV[e] partie, *Matériel roulant et Traction*.

[2] On trouvera une description très complète des différents systèmes de signaux dans l'*Etude sur les signaux des chemins de fer français*, par MM. E. Brame et L. Aguillon (Paris, 1883, 1 vol. et atlas).

On consultera également avec intérêt la *Revue générale des Chemins de fer*, qui a publié depuis sa fondation un grand nombre d'articles sur les signaux.

CHAPITRE III

CONCENTRATION DES LEVIERS. — ENCLENCHEMENTS

§ 1er — Concentration des leviers. — Manœuvre des aiguilles à distance. — Appareils de contrôle du fonctionnement des aiguilles. — Sonneries électriques. — Appareils de calage. — Manœuvre des aiguilles par fils. — Appareils de manœuvre du réseau de l'État.

§ 2. — Enclenchements. — Principe de l'enclenchement. — Appareil Vignier. — Dispositions actuelles des enclenchements Vignier. — Appareil Saxby et Farmer. — Enclenchements à distance. — Serrure Annett. — Appareils désengageurs. — Verrouillage des plaques tournantes. — Théorie des enclenchements. — Applications des enclenchements. — Dépenses d'installation.

Après avoir fait connaître les dispositions principales des différents signaux employés sur les chemins de fer, il nous reste à montrer les procédés qu'on emploie pour assurer la régularité de leur fonctionnement, d'où dépend la sécurité de l'exploitation.

M. Cossmann a publié en juillet 1880 et mars 1881 dans la *Revue générale des Chemins de fer*, sous le titre suivant : *Étude sur la concentration et l'enclenchement des leviers des aiguilles et signaux manœuvrés à distance*, un travail très intéressant sur cette question[1].

« L'exploitation des chemins de fer, dit M. Cossmann, nécessite la réunion, dans un espace plus ou moins restreint, d'un assez grand nombre de signaux et d'aiguilles manœuvrés par des agents spéciaux ayant cette seule occupation.

« A l'origine des chemins de fer, les leviers de ces aiguilles et de ces signaux étaient très rapprochés des appareils à manœuvrer et, par conséquent, un peu éparpillés et sans liaison entre eux. Un agent appelé *aiguilleur* était chargé d'assurer la manœuvre d'un certain nombre de leviers et, pour le guider, on lui donnait une *consigne*, dont les prescriptions *bien observées* rendaient tout accident impossible et garantissaient par suite, la sécurité.

[1] Ce travail a été complété par une nouvelle Etude du même auteur, publiée en 1888, 1889 et 1890 dans laquelle il a fait connaître les perfectionnements récemment réalisés.

« Mais, à mesure que le trafic s'est développé, et que l'importance de la circulation a augmenté, il est devenu nécessaire de manœuvrer plus fréquemment les appareils. On conçoit donc que l'on ait recherché les moyens de réduire les déplacements des aiguilleurs à travers les voies pour aller d'un levier à l'autre, et que l'on ait cherché des dispositions qui permissent d'exiger de ces agents d'un ordre inférieur une attention moins grande, en les empêchant mécaniquement de commettre des erreurs. »

C'est dans ce but qu'on a réalisé la *concentration des leviers* et les *enclenchements*.

§ 1er. — CONCENTRATION DES LEVIERS

Depuis fort longtemps, la manœuvre des signaux à distance se fait au moyen de fils, par les procédés que nous avons indiqués au précédent chapitre; il était donc facile de réunir en un même point les leviers de ces signaux. Quant à ceux des aiguilles, c'est généralement par l'emploi de tringles en fer ou transmissions rigides qu'on arrive à les concentrer au même endroit. On se sert aussi, pour la manœuvre à distance des aiguilles, de transmissions par fils; mais leur introduction dans la pratique des chemins de fer est plus récente. Dans tous les cas, le concentration des leviers peut être opérée et on les réunit en un point, qu'on appelle *poste* de l'aiguilleur.

Les transmissions rigides se réalisent en France au moyen de tringles en fer creux placées à une faible hauteur au-dessus du sol et guidées de distance en distance par deux poulies à gorge creuses superposées; des appareils compensateurs sont placés en certains points de la transmission pour prévenir les effets de la dilatation linéaire des tringles.

Ces transmissions ont l'inconvénient de coûter fort cher et d'exiger un grand effort pour la manœuvre. Aussi a-t-on cherché à les remplacer par des transmissions par fils. Divers systèmes ont été imaginés dans ce but; nous montrerons tout à l'heure les excellents résultats auxquels on est arrivé sur le réseau de l'État français en se servant d'appareils à excentrique mis en mouvement par deux fils.

Divers autres moyens ont été imaginés pour arriver à réaliser cette transmission. On emploie dans ce but des installations hydrodynamiques, pneumatiques ou électriques; cette question est encore actuellement dans la période des études et les différents procédés sont employés concurremment par les divers réseaux.

Quoi qu'il en soit, la manœuvre des aiguilles à distance est aujourd'hui entrée dans la pratique courante des chemins de fer et il en résulte la nécessité de munir ces aiguilles d'appareils destinés à s'assurer que leur ma-

nœuvre se fait bien. En effet, quand on manœuvre une aiguille directement à la main au moyen d'un levier d'une faible longueur, il suffit de la regarder pour être sûr qu'elle occupe bien la position voulue ; mais cette vérification par les yeux n'est plus possible dès que la distance entre le poste et les aiguilles atteint 40 ou 50 mètres et il devient nécessaire d'installer des appareils spéciaux qui permettent de vérifier le fonctionnement des aiguilles.

Ces appareils sont de deux sortes : les uns sont des appareils de contrôle, destinés à renseigner l'aiguilleur sur la position des lames des aiguilles ; les autres servent à exercer un calage effectif de ces lames, soit automatiquement au passage des trains, soit à la main en verrouillant l'aiguille à distance.

Les premiers sont des appareils électriques généralement disposés de telle sorte qu'une sonnerie fonctionne au poste d'aiguilleur, tant que la lame de l'aiguille n'est pas en contact avec le rail sur lequel elle doit s'appuyer ; l'aiguilleur est ainsi averti que l'aiguille est mal faite et il doit prendre les mesures nécessaires pour remédier à cette situation.

L'emploi de ces appareils a été recommandé aux compagnies par une circulaire ministérielle du 12 juillet 1880, après avis du Comité de l'exploitation technique. Il en existe de différents types ; nous citerons particulièrement le contrôleur *Lartigue*, de la compagnie du Nord et le contrôleur *Chaperon*, de la compagnie P.-L.-M.

Le premier se compose de deux commutateurs à mercure installés près de la pointe de l'aiguille de chaque côté des rails fixes et à l'extérieur de la voie ; ils sont disposés de manière à interrompre le courant électrique lorsque l'aiguille est bien faite, c'est-à-dire quand l'une des lames est exactement appliquée contre le rail, tandis que l'autre en est écartée ; au contraire, dès que l'aiguille est entre-bâillée, ne fût-ce que de 3 ou 4 millimètres, le courant est établi par les commutateurs et la sonnerie tinte. On a remarqué, sur le réseau du Nord, que lorsqu'une aiguille non calée est prise en pointe par un train animé d'une certaine vitesse, la sonnerie tinte souvent pendant toute la durée du passage du train. Ce tintement, qui révèle les entre-bâillements successifs produits par les chocs des roues franchissant la pointe de l'aiguille, donne en même temps une preuve de la sensibilité de l'appareil [1].

Dans le contrôleur Chaperon, le commutateur est formé par un secteur circulaire en fonte, recouvert d'une plaque d'ébonite sur laquelle est fixée une lame d'argent ; cette lame est destinée à relier deux ressorts de contact isolés l'un de l'autre, dès que l'aiguille s'est écartée du rail et, par suite, à

[1] Voir la *Revue générale* d'octobre 1882 pour les modifications de détail introduites dans cet appareil.

fermer un circuit électrique dans lequel est intercalée une sonnerie d'avertissement.

Les appareils destinés à assurer le calage des aiguilles appartiennent à deux types principaux: ce sont ou des *pédales* qui, au passage des trains, appliquent exactement les lames contre les rails, ou des *verrous* qui sont manœuvrés à distance et ne peuvent fonctionner que lorsque les lames sont exactement appliquées.

Il existe un grand nombre de pédales et de verrous d'aiguilles appartenant à des systèmes différents; on en trouvera la description dans les articles cités de M. Cossmann.

C'est surtout pour les aiguilles prises en pointe que les appareils de calage présentent un réel intérêt, tant au point de vue de la régularité du fonctionnement des aiguilles, qu'à celui de la diminution des obstacles que leur présence crée pour la vitesse des trains. En effet, d'après l'article 37 de l'Ordonnance de 1846 sur la Police des chemins de fer, modifiée par décret du 1er mars 1901, des mesures de précaution spéciales doivent être observées par les mécaniciens aux approches et au passage des bifurcations. Les différents réseaux ont prévu dans ce but diverses mesures insérées dans leurs règlements particuliers[1], mais toutes imposent à leurs trains un ralentissement marqué, qui a pour résultat de diminuer la rapidité des voyages, surtout pour les trains express. En Angleterre, on franchit souvent, en pleine vitesse, les bifurcations dont les aiguilles sont munies d'appareils de calage; cette manière de faire peut avoir des inconvénients, par suite des trépidations que le passage des trains à grande vitesse fait éprouver aux aiguilles, et il vaut mieux, dans l'intérêt de la conservation des appareils de la voie, s'imposer, au passage des aiguilles en pointe, une certaine réduction de vitesse. Mais cette réduction peut être moindre aux aiguilles munies d'appareils destinés à les maintenir exactement appliquées qu'à celles qui ne sont pas munies de ces appareils. On voit, par ces considérations, l'intérêt qui s'attache à la question du calage des aiguilles et on comprend qu'un grand nombre de systèmes aient été imaginés dans ce but. Il est probable que, lorsque l'expérience se sera définitivement prononcée sur leur efficacité, on arrivera à adoucir la rigueur du règlement en ce qui concerne le passage des trains aux bifurcations.

[1] Nord. Les mécaniciens ne doivent pas franchir avec une vitesse supérieure à 20 kilomètres (trains de voyageurs) et à 10 kilomètres (trains de marchandises) les 160 mètres qui précèdent l'aiguille d'une bifurcation.
Est. — Les trains doivent s'arrêter complètement à toutes les bifurcations.
P.-L.-M. — La vitesse doit être celle d'un homme marchant au pas.
Orléans. — La vitesse doit être réduite à 25 kilomètres à l'heure.
Midi et Ouest. — L'une des directions est considérée comme secondaire et les trains de cette direction doivent s'arrêter complètement.
Etat. — Tous les trains doivent ralentir leur marche, les mécaniciens doivent toujours être en état de s'arrêter avant la bifurcation, dans le cas où ils apercevraient un signe d'arrêt.

En tout cas, même lorsqu'on emploie ces appareils, il est bon d'y ajouter un contrôleur électrique, qui fournit un renseignement précieux sur la manière dont l'appareil a fonctionné.

MANŒUVRE DES AIGUILLES PAR FILS. — Les transmissions rigides employées pour la manœuvre des aiguilles à distance ont, ainsi que nous l'avons dit, l'inconvénient de coûter fort cher (8 à 10 francs le mètre courant); en outre, la distance à laquelle elles permettent de manœuvrer les aiguilles est fort limitée (400 mètres au maximum); enfin, elles nécessitent l'emploi d'appareils spéciaux pour compenser les allongements résultant des variations de la température. Ces inconvénients ont suggéré à MM. *Siemens* et *Halske*, de Berlin, l'idée d'obtenir la manœuvre des aiguilles à distance au moyen d'appareils à excentrique mis en mouvement par deux fils. Le premier appareil établi par ces constructeurs fut employé en 1879 par la compagnie du chemin de fer hollandais. M. *Asser*, ingénieur en chef de la voie et des travaux de cette compagnie, a fait connaître dans la *Revue générale des Chemins de fer* (avril 1886) les dispositions de l'appareil qu'on a été amené à substituer à l'appareil primitif, qui présentait certains inconvénients; les nouvelles transmissions ont été adoptées, en Hollande, même aux aiguilles situées sur les voies principales. Il en est de même, d'ailleurs, des appareils Siemens et Halske, qui sont usités en Allemagne et en Autriche.

En France, la manœuvre des aiguilles par fils n'a d'abord été employée que pour les voies accessoires. La compagnie du Nord en a fait des essais très satisfaisants à la gare de Longueau [1]; la compagnie P.-L.-M. l'a également appliquée avec succès dans les gares de Brunoy et de Montchanin et elle se propose de l'adopter dans toutes les gares de triage, pour concentrer la manœuvre des aiguilles d'un même faisceau dans un seul poste, entre les mains d'un seul aiguilleur.

L'État français a été plus loin ; comme les Hollandais et les Allemands, il a appliqué la manœuvre par fils aux aiguilles des voies principales. M. *Charles Colin*, ingénieur du matériel fixe des chemins de fer de l'État, a publié dans la *Revue générale* de mai 1889 une note relative aux appareils qu'il a étudiés dans ce but, sous la direction de M. Bricka, et qui sont basés, comme ceux de M. Asser, sur le principe de l'excentrique mis en mouvement par deux fils.

En raison de l'importante économie et des excellents résultats que donnent ces appareils, nous ne croyons pouvoir mieux faire que de reproduire ci-dessous les principales indications de la note de M. Colin.

[1] V. *Revue des Chemins de fer* (octobre 1888) un article de M. Leluau sur les *Dispositions de la gare de Longueau et l'emploi des fils pour la manœuvre à distance des aiguilles.*

Transmissions. — Les transmissions ont été l'objet d'une étude toute particulière. Elles sont établies dans des conditions telles que l'appareil, une fois réglé lors de la pose, fonctionne, quelles que soient les variations de température, sans qu'il soit nécessaire de revenir sur le premier réglage du fil. C'est là un point essentiel, sur lequel il est nécessaire d'insister.

Il est clair que, pour obtenir la manœuvre *parfaite* d'une aiguille par fils, il faudrait avoir un fil absolument insensible aux variations de température et de tension, de manière qu'une fois tendu, il restât rectiligne à toute température et qu'il transmît intégralement et instantanément à l'aiguille le mouvement imprimé au levier de manœuvre. Ce fil idéal n'existant évidemment pas, on a dû en chercher un qui eût assez d'élasticité pour compenser les effets des variations de température et qui donnât cependant, sans avoir une section exagérée, un allongement élastique très petit sous l'effort exercé sur le levier de manœuvre.

Les ingénieurs hollandais disent simplement, pour déterminer la nature des fils de transmission et les conditions de leur pose, « qu'on emploie *avec succès* un fil d'acier *pas trop dur*, et que, quoiqu'il ne soit pas nécessaire de tendre les fils *outre mesure*, il est pourtant bon, au moyen d'un palan, de pousser la tension aussi loin qu'une manœuvre facile le comporte ».

Sur le réseau de l'État français, on a donné à cette formule plus de précision. Le fil adopté est un fil d'acier, dont la limite d'élasticité est de 70 kilogrammes par millimètre carré et qui possède un coefficient d'élasticité égal à 20 000 ; il subit un allongement élastique de 0,0025 m. par mètre sous une tension de 50 kilogrammes par millimètre carré.

Pour les longueurs ordinaires de transmission, c'est-à-dire de 100 à 500 mètres, on a admis comme diamètre du fil 3,9 mm. Dans le cas de longueurs plus grandes, il convient d'augmenter le diamètre et de prendre du fil de 5 millimètres, de manière que l'allongement accidentel dû à la manœuvre ne dépasse pas 4 à 5 centimètres. Une fois qu'on a constaté par des épreuves que le fil d'acier qu'on emploie remplit bien les conditions d'élasticité indiquées, la pose s'opère méthodiquement. On trouve dans un barème, calculée en fonctions de la longueur de la transmission et de la température, la tension qu'il convient de donner aux fils au moment de la pose, et on est assuré que les fils resteront dans l'état de tension qui convient pour que la manœuvre se fasse régulièrement, quelle que soit la température.

Pour arriver à donner aux fils la tension voulue, on interpose des tendeurs et des dynamomètres dans l'étendue de la transmission et on agit sur les tendeurs jusqu'à ce que les dynamomètres indiquent cette tension. Quand le fil est réglé, on remplace chaque dynamomètre par un bout de chaîne ayant exactement la même longueur que ce dernier.

Description des appareils. — Deux modèles sont employés sur le réseau de l'Etat pour la manœuvre des aiguilles par fils.

MANŒUVRE DES AIGUILLES PAR FILS. — RÉSEAU DE L'ÉTAT

Ensemble des appareils modèle A.

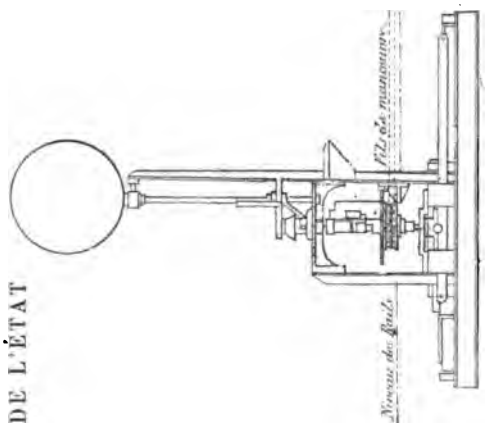


Fig. 422. — Élévation.

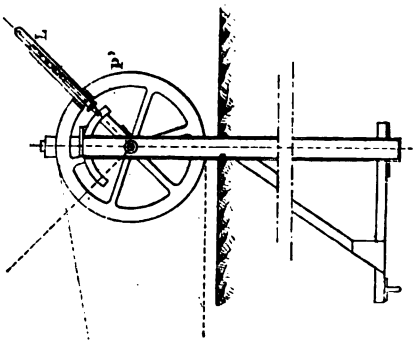


Fig. 423. — Élévation de l'appareil de manœuvre.

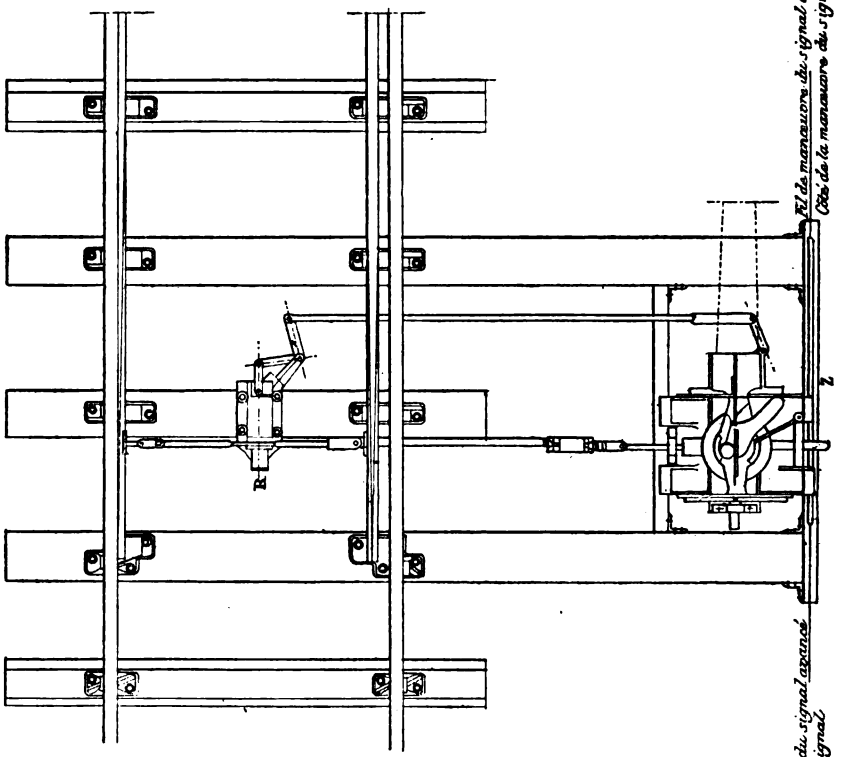


Fig. 421. — Plan.

L'un, destiné à être placé sur les voies principales, et représenté dans son ensemble par les figures 421, 422 et 423, est muni d'un signal d'aiguille, d'un verrou et d'un enclenchement avec un signal de protec-

tion. Il permet, à volonté, de manœuvrer l'aiguille à distance ou sur place. Il est nommé *modèle A*.

L'autre, destiné à être placé sur les voies secondaires, n'a ni signal d'aiguille, ni verrou, ni enclenchement ; il permet également de manœuvrer l'aiguille à distance ou sur place. C'est le *modèle B*.

MODÈLE *A* POUR VOIES PRINCIPALES

Un excentrique A*cd*B*d'c'* tourne autour d'un axe vertical 00′ (fig. 424 et 425) ; son tracé est déterminé comme il suit :

Deux arcs de cercle, *cc'*, *dd'* ont un centre commun O et un axe de symétrie AB ; la différence de leurs rayons, OA et OB, est égale au chemin

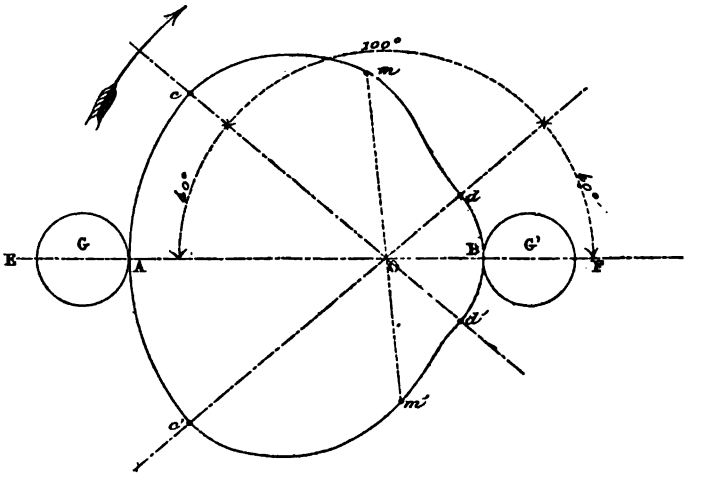


Fig. 424. — Manœuvre des aiguilles par fils. — Tracé de l'excentrique.

parcouru par le point d'attache de la tringle de manœuvre sur la lame d'aiguille, dans une manœuvre complète. Les arcs *cc'*, *dd'* correspondent à un même angle au centre de 80°. Ils sont raccordés par deux courbes symétriques *cd*, *c'd'*, dont les raccordements ne sont pas nécessairement tangentiels.

Deux galets G, G′ à axes verticaux (fig. 425) sont portés par la barre d'excentrique EF, qui se dédouble pour embrasser l'excentrique et servir de chape aux galets. Deux ouvertures H, H′ permettent à cette barre de se mouvoir sans rencontrer l'arbre OO′. La tringle de manœuvre de la lame d'aiguille forme le prolongement de la barre d'excentrique avec laquelle elle se raccorde au moyen d'une chape de réglage I et transmet à la lame de l'aiguille le mouvement imprimé par l'excentrique.

Supposons que l'excentrique effectue une rotation de 180° dans le sens

indiqué par la flèche (fig. 424) ; si l'on part de la position initiale qui est représentée par la figure, le mouvement se décompose en trois phases, savoir :

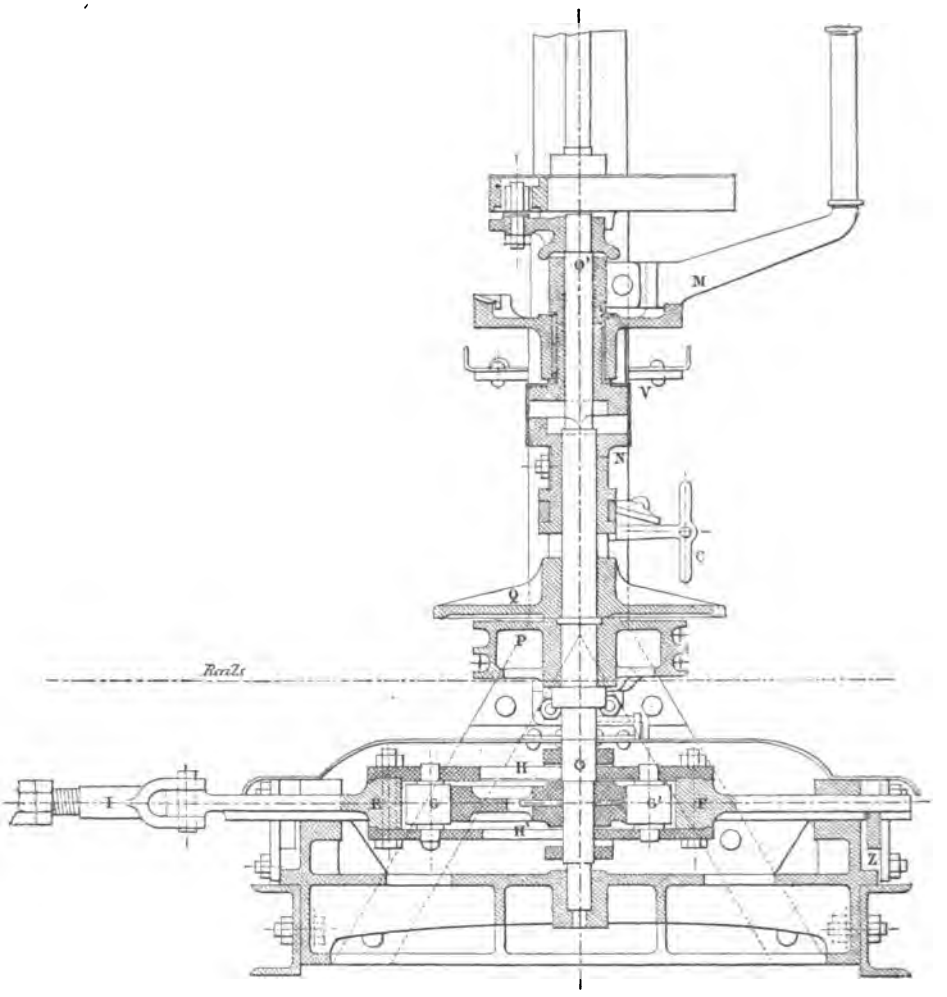


Fig. 425. — Manœuvre des aiguilles par fils. — Coupe verticale perpendiculaire à la voie.

Première phase. Rotation de 40°. — Le galet G′ reste tangent à l'arc de cercle B*d*. Il tourne autour de son axe sans translation.

Deuxième phase. Rotation de 100°. — Le galet G′, tangent à la courbe *dc*, tourne autour de son axe en se déplaçant de E vers F d'une quantité égale à la différence des rayons O*c* et O*d*.

Troisième phase. Rotation de 40°. — Le galet G′ est tangent à l'arc de cercle *c*A et tourne sans translation.

La différence O*c* — O*d* étant égale au chemin à parcourir par la lame

d'aiguille, il en résulte qu'à la fin de la deuxième phase, l'aiguille doit être faite. Pendant la troisième phase, l'aiguille se cale.

Quand on veut renverser l'aiguille pour l'autre direction, on fait tourner l'excentrique dans le sens contraire à celui de la flèche et c'est alors le galet G qui est en contact avec le pourtour de l'excentrique ; le second mouvement est symétrique du premier.

On voit que la somme $Om + Om'$ des rayons vecteurs opposés des courbes cd et $c'd'$ doit être inférieure ou au plus égale à la distance entre les points de contact des galets dans toutes leurs positions.

Tout en remplissant cette condition, on a tracé les courbes cd, $c'd'$ par points, de manière que, le mouvement de rotation de l'excentrique étant supposé uniforme, le mouvement rectiligne des galets soit, autant que possible, uniformément accéléré d'abord, puis retardé.

Le mouvement alternatif de rotation de l'excentrique peut être produit soit par le levier de manœuvre placé à distance (fig. 423), soit par une manivelle M calée sur l'appareil (fig. 425).

Voici comment se fait la manœuvre à distance :

L'excentrique est calé sur l'arbre vertical OO'. La transmission est à deux fils terminés par des chaînes qui s'enroulent sur une poulie à deux gorges, P, folle sur l'arbre OO'. Immédiatement au-dessous de cette poulie tourne un plateau Q calé sur le même arbre. Pour que le mouvement de rotation imprimé à la poulie P se transmette à l'excentrique AB, il suffit évidemment d'embrayer cette poulie avec le plateau Q.

Cet embrayage s'obtient au moyen d'une serrure fixée sur le plateau et dont le pène vertical peut pénétrer dans un trou pratiqué dans la partie supérieure de la poulie (cette serrure n'est pas visible sur la figure). Quand la serrure est fermée, la poulie et le plateau sont solidaires et le mouvement de rotation de la poulie entraîne celui de l'excentrique.

La manœuvre se fait au moyen d'un levier ordinaire L (fig. 423) et d'une poulie verticale P'. La course du levier est limitée à 90°.

Les valeurs relatives du rayon de la poulie folle P, du rayon de la poulie de manœuvre P' et de la course du levier L sont calculées de manière que, ce dernier accomplissant sa course complète, la poulie P et par suite l'excentrique tournent d'un peu plus de 180° ; il est nécessaire, en effet, pour obtenir une sécurité absolue, d'augmenter un peu la troisième phase du mouvement, celle qui correspond au calage de l'aiguille. On l'augmente de 20° ; la première phase se trouve, par suite, augmentée aussi de 20° et l'amplitude totale du mouvement de l'excentrique se trouve égale à 220°. Cette augmentation permet de racheter la course perdue ou l'allongement accidentel des fils dû à l'effort exercé sur le levier quand on attaque la manœuvre.

On comprend combien il est essentiel que les fils soient toujours bien

tendus, afin que la course perdue ne dépasse pas la valeur qu'on a admise dans le calcul des rayons des poulies et de la course du levier de manœuvre.

Pour pouvoir manœuvrer l'aiguille sur place, il suffit d'ouvrir la serrure au moyen d'une clef C (fig. 425) ; la poulie P redevient folle sur l'arbre OO′ et les fils de la transmission n'agissent plus sur l'excentrique. L'ouverture de la serrure a en même temps pour effet de faire remonter un manchon d'embrayage N, qui s'engrène avec une douille V, faisant corps avec la manivelle M. Le manchon N étant solidaire du mouvement de rotation de l'arbre, on voit que le mouvement de la manivelle M entraînera celui de l'excentrique. Quand la manœuvre est terminée, on ramène le plateau dans sa position initiale et on ferme la serrure.

Une seconde serrure, identique à la première, est fixée sur le sommet du support de levier de la manœuvre et *elle ne peut être ouverte qu'avec la même clef*. Suivant que cette clef est dans la seconde ou dans la première de ces deux serrures, la manœuvre peut se faire par les fils ou par la manivelle. De plus, cette clef ne pouvant ressortir de sa serrure que lorsque celle-ci est fermée, quand la clef est dans le bureau du chef de gare, cet agent peut considérer les appareils comme cadenassés [1]

Nous n'entrerons pas dans le détail de la description des dispositions qui concernent le verrou R (fig. 421) et le signal de position de l'aiguille (fig. 422). Nous dirons seulement que le verrouillage est produit par l'intermédiaire d'une seconde barre d'excentrique, perpendiculaire à la première, et mue par le même excentrique ; deux équerres parallèles et une tringle renvoient au verrou R le mouvement communiqué par l'excentrique à la barre, et ce verrou R ne peut pénétrer dans l'un ou l'autre des deux trous percés dans l'entretoise des lames d'aiguilles, que lorsque l'aiguille est faite pour l'une de ces deux directions.

Quant au signal de position de l'aiguille, il est commandé par une manivelle calée sur l'arbre OO′, et dont le bouton est guidé par une came horizontale calée sur le mât du signal.

De sorte que, finalement, les trois phases principales du mouvement produisent les effets suivants :

Première phase. — Décalage de l'aiguille, sortie du verrou et mise du signal dans une position oblique.

Deuxième phase. — Mouvement de l'aiguille, immobilité du verrou et du signal.

Troisième phase. — Calage de l'aiguille, entrée du signal et achèvement de la course du signal.

[1] Cette disposition est semblable à celle de la serrure *Annett*, dont nous parlerons plus loin.

Enfin l'appareil peut être *enclenché* avec le signal de protection. Il suffit pour cela d'intercaler sur le parcours de la transmission de ce signal une tringle Z (fig. 421 et 425) et de prolonger la barre d'excentrique EF d'une longueur suffisante pour dépasser la tringle Z lorsque l'excentrique est à fin de course. Cette barre porte une entaille, et en ménageant une autre entaille dans la tringle Z, en un point à déterminer exactement sur place, d'après la position du signal, on réalise l'enclenchement de l'appareil avec le signal de protection.

MODÈLE *B* POUR VOIES ACCESSOIRES

Le modèle B comporte le même excentrique, la même barre EF et la même poulie P que le modèle A. Mais le plateau Q et le manchon d'embrayage N ne forment plus qu'une seule pièce et la solidarité entre le plateau et la poulie n'est plus établie au moyen d'une serrure, mais par un taquet, boulonné dans le plateau. Une fois la poulie et ce plateau rendus solidaires, la manœuvre à distance s'opère comme avec le modèle A.

Pour la manœuvre sur place, il existe une différence. Comme, sur les voies accessoires, les manœuvres sur place sont beaucoup plus fréquentes que sur les voies principales, on a remplacé le système des serrures par une pédale à contrepoids, sur laquelle l'aiguilleur appuie avec son pied, quand il veut faire une manœuvre sur place ; il fait ainsi remonter le manchon d'embrayage et rend folle la poulie P, de sorte que l'appareil n'est plus soumis à l'action des fils de transmission.

Les deux appareils A et B peuvent indifféremment être mis en mouvement par des transmissions à terre ou aériennes.

On a installé à Nantes, pour la manœuvre de l'aiguille de bifurcation, d'une voie de raccordement avec la voie principale, un appareil dont la transmission est en courbe de 250 mètres de rayon et mesure 485 mètres de longueur. Cet appareil fonctionne parfaitement et la course de l'excentrique reste constante, quelle que soit la température.

Prix de revient. — Le prix d'un appareil avec la manœuvre, non compris les transmissions, est d'environ :

750 francs pour le modèle A complet ;
650 francs pour le modèle A sans serrure et sans les organes pour la manœuvre sur place ;
450 francs pour le modèle B.

Ces divers appareils ont été posés dans un certain nombre de gares du

réseau de l'Etat : Brou, la Chartre, Saint-Jean-d'Angély, Saint-Jean-de-Thouars, l'Herbergement, etc.

Voici, à titre d'exemple, l'économie réalisée dans la gare de l'Herbergement par l'emploi de la manœuvre par fils comparé aux transmissions rigides.

Il y avait à manœuvrer deux aiguilles situées sur la voie principale à des distances de 520 mètres et 180 mètres, et une aiguille située à 225 mètres sur les voies accessoires. On ne peut pas songer à faire la comparaison pour la première de ces aiguilles, puisque les transmissions rigides ont leur action limitée bien au-dessous de la distance de 520 mètres. Pour les deux autres aiguilles, voici la comparaison des prix de revient :

TRANSMISSION PAR FILS		TRANSMISSION RIGIDE	
Aiguille manœuvrée à une distance de 180 mètres.			
Appareil modèle A avec sa manœuvre, mais sans serrure et sans les organes pour la manœuvre sur place. . . .	650 fr.	Manœuvre de l'aiguille et du verrou	115 fr.
Double transmission :		Signal d'aiguille.	40 —
180 m. × 0,50 fr.	90 —	Verrou d'aiguille.	50 —
Tendeurs	16 —	Transmissions rigides, y compris tous les accessoires :	
Total	756 fr.	2 × 180 m. × 10 fr	3 600 —
		Total	3 805 fr.
Aiguille manœuvrée à une distance de 225 mètres.			
Appareil modèle B complet	550 fr.	Manœuvre simple.	70 fr.
Double transmission :		Transmission rigide :	
225 m. × 0,50 fr.	112,50 fr.	225 m. × 10 fr.	2 250 fr.
Tendeur.	16 —	Total	2 320 fr.
Total	578,50 fr.	TOTAL GÉNÉRAL.	6 125 fr.
TOTAL GÉNÉRAL . .	1 334,50 fr.		

Il y a donc une économie considérable réalisée par l'emploi des transmissions par fils, en même temps que la possibilité de pousser beaucoup plus loin qu'avec les transmissions rigides la distance à laquelle on manœuvre les aiguilles.

Tous les appareils de ce genre installés sur le réseau de l'Etat et dont le plus ancien est en service à Taillebourg depuis 1887, n'ont cessé de donner de très bons résultats [1].

[1] Voir sur la même question : *Revue générale des Chemins de fer*, juillet 1895. Article de M. Barluet.

§ 2. — ENCLENCHEMENTS

On désigne, d'une manière générale, sous le nom d'*enclenchement* une dépendance matérielle établie entre des signaux, des aiguilles ou autres appareils de voie, de telle sorte que chaque signal ne puisse être placé dans une position donnée que lorsque l'appareil de voie qu'il protège se trouve bien dans la position correspondante. C'est donc un moyen d'obtenir une sécurité absolue dans la manœuvre des aiguilles et autres appareils de voie en empêchant matériellement l'aiguilleur de manœuvrer les leviers d'aiguilles tant que les signaux qui les protègent ne sont pas placés dans la position qu'ils doivent occuper.

C'est en 1855 que M. Vignier, alors chef de section au chemin de fer de l'Ouest, a introduit dans les chemins de fer le principe de l'enclenchement qui a eu, depuis, de si nombreuses et de si importantes applications. Son appareil était destiné aux bifurcations, et il avait pour but d'empêcher l'ouverture simultanée des deux directions. Voici comment il était constitué :

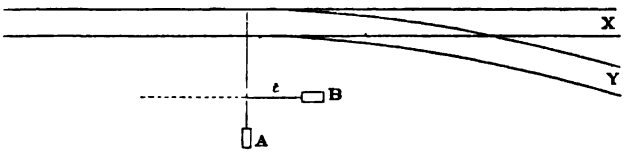


Fig. 426. — Principe de l'enclenchement. Appareil Vignier.

Soit (fig. 426) une bifurcation à deux branches X et Y ; A, le levier de manœuvre de l'aiguille ; B, celui du signal de l'une des deux branches, Y par exemple. Le levier B est muni d'une tige *t*, qui, lorsqu'on ouvre le disque, s'avance vers la tringle de l'aiguille ; cette tige ne peut accomplir son mouvement qu'en pénétrant dans un trou ménagé dans cette tringle. Or, le trou est placé de telle façon que la tige *t* le rencontre seulement quand l'aiguille est faite pour la direction Y. Au contraire, quand cette aiguille est faite pour la direction X, la tige rencontre la tringle pleine de l'aiguille ; la tige ne peut pas s'avancer et le disque ne peut pas s'ouvrir. Il est donc matériellement impossible que l'aiguilleur ouvre le disque pour l'une des deux directions, alors que l'aiguille est faite pour l'autre.

On dit, dans ce cas, que le levier B *enclenche* le levier A, c'est-à-dire qu'il l'empêche de manœuvrer.

C'est ce principe, fort simple, qui a donné naissance aux divers systèmes d'enclenchements usités aujourd'hui et dont les combinaisons sont extrêmement variées.

APPAREIL D'ENCLENCHEMENT VIGNIER (COMPAGNIE D'ORLÉANS)

Ensemble.

Fig. 427. — Coupe GH.

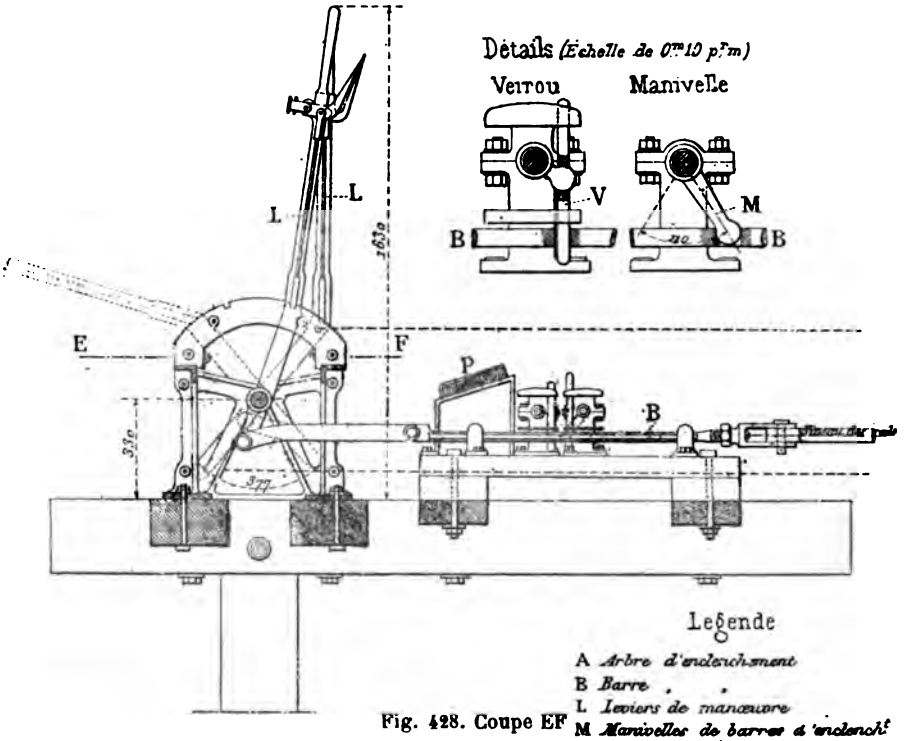
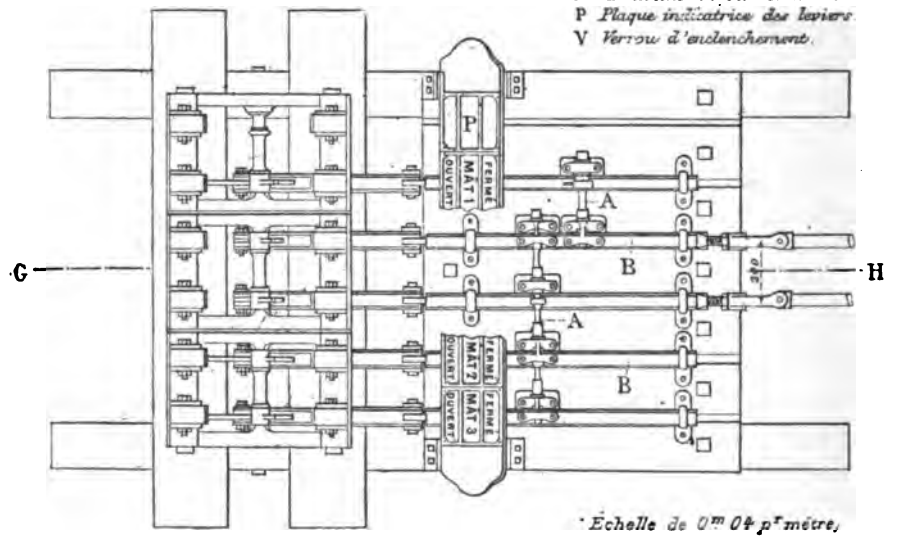


Fig. 428. Coupe EF



En premier lieu, le système que nous venons d'exposer, perfectionné de manière à lui faire occuper un espace aussi réduit que possible et appliqué à un certain nombre de leviers concentrés dans un même poste, constitue l'enclenchement Vignier. Il est employé sur tous les réseaux dans les postes où se trouve un petit nombre de leviers, 5 à 7; c'est le type normal des bifurcations simples, où les aiguilles et les signaux sont enclenchés.

Dans un poste Vignier, les leviers sont habituellement placés perpendiculairement aux voies, de part et d'autre de la guérite de l'aiguilleur. Les enclenchements sont établis en plein air et au niveau du sol sur une plate-forme horizontale située en avant des leviers et qu'on appelle table d'enclenchement.

Nous représentons (fig. 427 et 428) les dispositions de l'appareil Vignier employé par la compagnie d'Orléans; l'enclenchement est réalisé au moyen d'un verrou cylindrique V, qui se meut verticalement et pénètre dans un trou pratiqué dans la barre d'enclenchement B.

Les leviers mettent en mouvement, indépendamment de la transmission destinée à manœuvrer les appareils, des bielles qui communiquent aux barres d'enclenchement un déplacement longitudinal. Quand le levier est enclencheur, cette barre commande une manivelle M, qui donne un mouvement de rotation à un axe horizontal auquel sont fixés les verrous. Quand le levier ne manœuvre pas de verrous, il fait simplement mouvoir la barre B, de manière que les trous dont elle est percée viennent se placer en face des verrous cylindriques pour permettre l'enclenchement.

Nous représentons également (fig. 429) le plan d'un châssis d'appareil Vignier et le diagramme d'enclenchement pour un poste pouvant comprendre jusqu'à 16 leviers. On voit qu'on a placé au milieu les leviers d'aiguilles 6 et 7 et de part et d'autre les leviers des mâts de signaux; dans l'intervalle, on a réservé l'emplacement nécessaire pour 4 nouveaux leviers. C'est une précaution qu'il ne faut jamais négliger pour pouvoir, le cas échéant, augmenter le nombre des appareils manœuvrés par le poste.

On construit également des postes du système Vignier à table d'enclenchement verticale, ce qui permet de les établir dans des cabines placées à une certaine hauteur au-dessus des voies et d'y concentrer un plus grand nombre de leviers. La compagnie de l'Ouest, a des postes surélevés comprenant 18 leviers. C'est également au nombre maximum de 18 leviers que la compagnie P.-L.-M. limite l'emploi des enclenchements Vignier à table verticale.

Le type Saxby et Farmer, qui est aujourd'hui répandu dans le monde entier[1], permet de concentrer dans un même poste un nombre de leviers

[1] On estime à 3 000 environ le nombre de leurs appareils que MM. Saxby et Farmer ont livrés, jusqu'en 1883, aux différents chemins de fer du globe. Depuis cette époque, ce nombre n'a fait qu'augmenter.

APPAREIL D'ENCLENCHEMENT. — SYSTÈME VIGNIER (COMPAGNIE D'ORLÉANS)

Nombre de leviers	a	b	c	d	e	f	g
2	5 50	565	1,30	7 50	2,25	450	285
4	9 50	965	1,70	9 00	2,40	450	285
6	1, 35	1,365	2,10	1, 65	2,55	450	285
8	1, 75	1,765	2,50	1, 35	2,85	450	285
10	2, 15	2,165	2,90	1,50	3, 00	450	285
12	3, 55	2,565	3,30	1, 65	3, 00	450	200
14	2, 95	2,965	3,70	1, 80	3, 08	450	200
16	3, 35	3,365	4,10	1, 95	3, 72	450	140

Nota. *Dans le diagramme de la table d'enclenchement, les manivelles d'entraînement des barres d'enclenchement, les manivelles des verrous d'enclenchement et les verrous eux-mêmes sont supposés rabattus vers la droite autour de l'intersection de leur plan vertical avec le plan horizontal des barres d'enclenchement.*

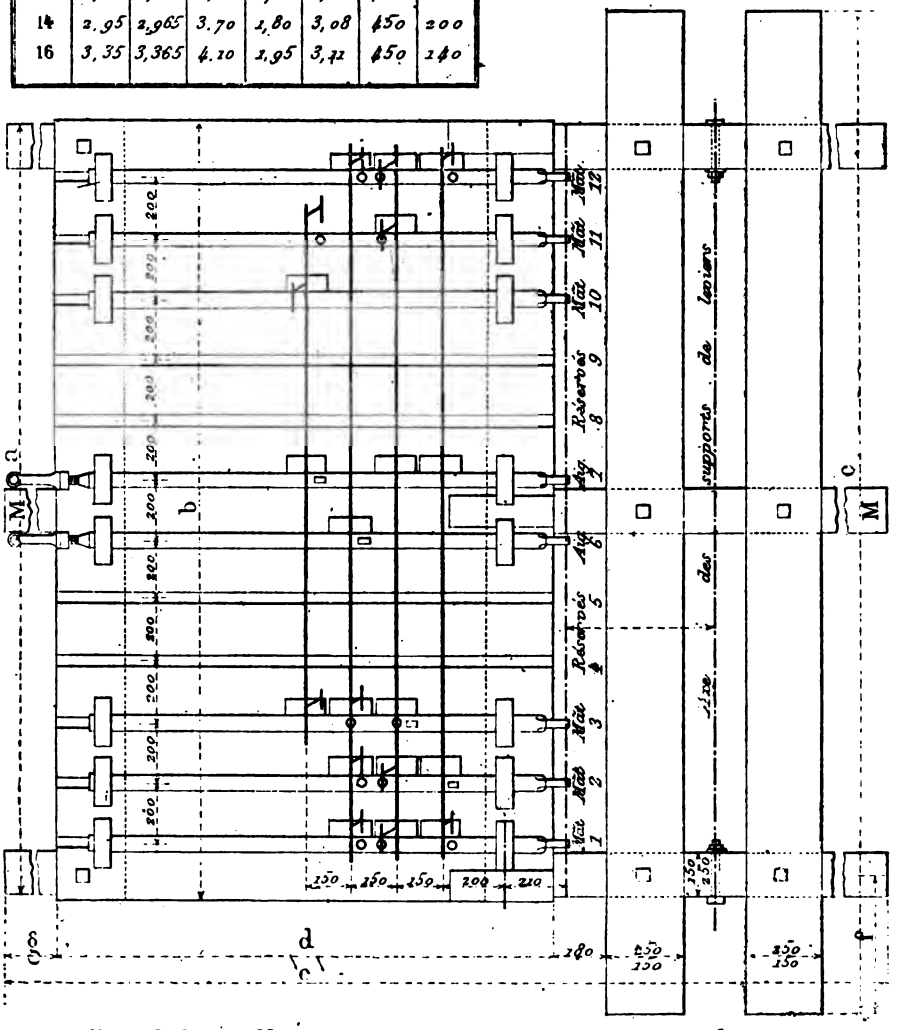


Fig. 429. — Plan d'un châssis et diagramme d'enclanchement (Echelle $\frac{1}{25}$).

bien plus considérable; tous ces leviers sont réunis dans une cabine vitrée, appelée *Signal box*, dont le plancher est élevé de 3, 4 et même 6 mètres au-dessus du sol, afin de permettre à l'agent qui manœuvre ces leviers et qu'on appelle *signaleur*, d'embrasser d'un coup d'œil une certaine étendue de voies aux abords du poste. Un escalier extérieur mène à cette cabine, dont la longueur varie suivant le nombre de leviers qu'on y installe; ils sont tous alignés dans le sens de la longueur et distants de 0,127 m. d'axe en axe ; on laisse 1,50 m. d'intervalle entre le dernier levier et les parois de la cabine. Quant à la largeur de celle-ci, elle est constante et égale à 3,60 m.

Dans leur position normale, tous les leviers sont inclinés obliquement du côté opposé au signaleur, que ce soient des leviers d'aiguilles ou des leviers de signaux; pour faire les manœuvres, le signaleur doit amener les leviers à lui, c'est-à-dire les *renverser*. Ce mouvement se transmet, d'une part, à la table d'enclenchement placée derrière la rangée des leviers, et, d'autre part, aux organes de transmission, fils et tringles rigides situés au-dessous du plancher de la cabine.

Le système Saxby et Farmer, dans sa disposition actuelle, a deux avantages principaux: d'abord, à cause de l'emplacement très restreint occupé par chaque levier, il permet de réunir au même poste un nombre considérable d'appareils. Ainsi un *Signal box*, établi par la compagnie d'Orléans à la gare de Paris, contient 23 leviers; il y en a 33 à la gare de la Guillotière, à Lyon; il y a à Amiens (Nord) un poste de 92 leviers. En Angleterre, ces nombres sont de beaucoup dépassés; le poste central de la gare de Waterloo-Bridge à Londres renferme 109 leviers et celui de London-Bridge en a 280, desservis par quatre agents qui font simultanément le service.

En second lieu, ces appareils sont établis avec une précision rigoureuse qui fait que leur fonctionnement est d'une exactitude parfaite, même après un temps de service assez long et, de plus, une disposition extrêmement ingénieuse du levier donne une garantie absolue de sécurité dans la manœuvre des appareils. Voici en quoi consiste cette disposition, qui est le point essentiel du système.

Nous représentons, d'après M. Cossmann, l'élévation par bout (fig. 430) et la coupe en travers (fig. 431) d'un levier L et de la table d'enclenchement E. La figure 432 donne la vue de face de deux leviers.

Le mouvement d'oscillation que l'on donne au levier L, en le renversant ou en le ramenant à sa position normale, se transmet directement aux tringles ou aux fils qui commandent les appareils de la voie; au contraire, les enclenchements sont mis en mouvement par l'oscillation d'une coulisse circulaire B, mobile autour d'un axe horizontal O, à laquelle la manœuvre du levier fait prendre un mouvement de bascule.

A cet effet, une poignée à ressort *l* est articulée avec le levier L et com-

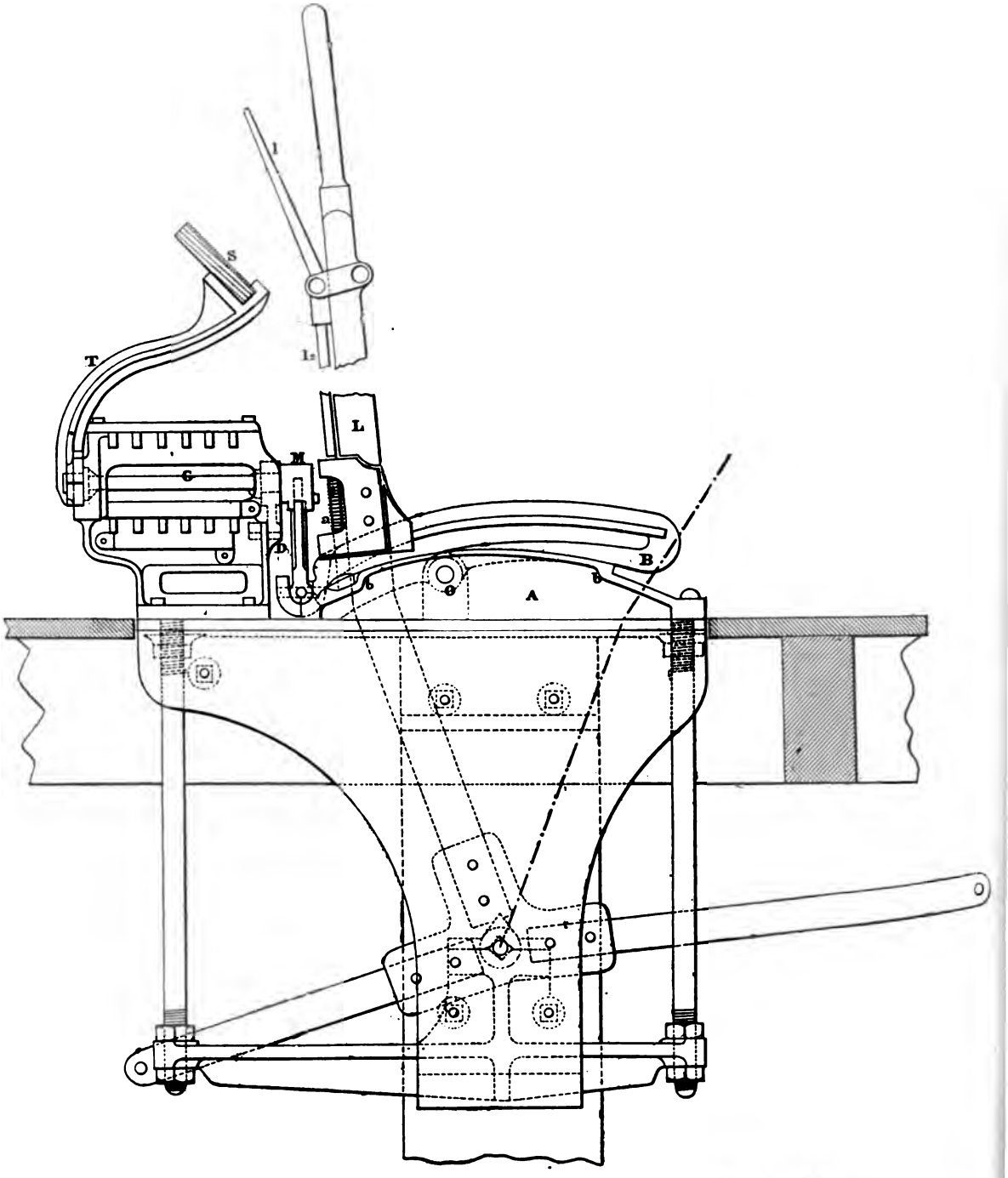


Fig. 430. — Appareil Saxby et Farmer. — Elévation par bout. — (Echelle $\frac{1}{10}$).

mande une tige l_2, qui peut glisser le long de ce levier et qui tend à être ramenée vers le bas par un ressort a ; de cette manière, l'extrémité inférieure de la tige l_2 vient se loger dans l'un ou l'autre des deux crans d'arrêt b situés de chaque côté du secteur fixe A, qui guide la course du levier. En

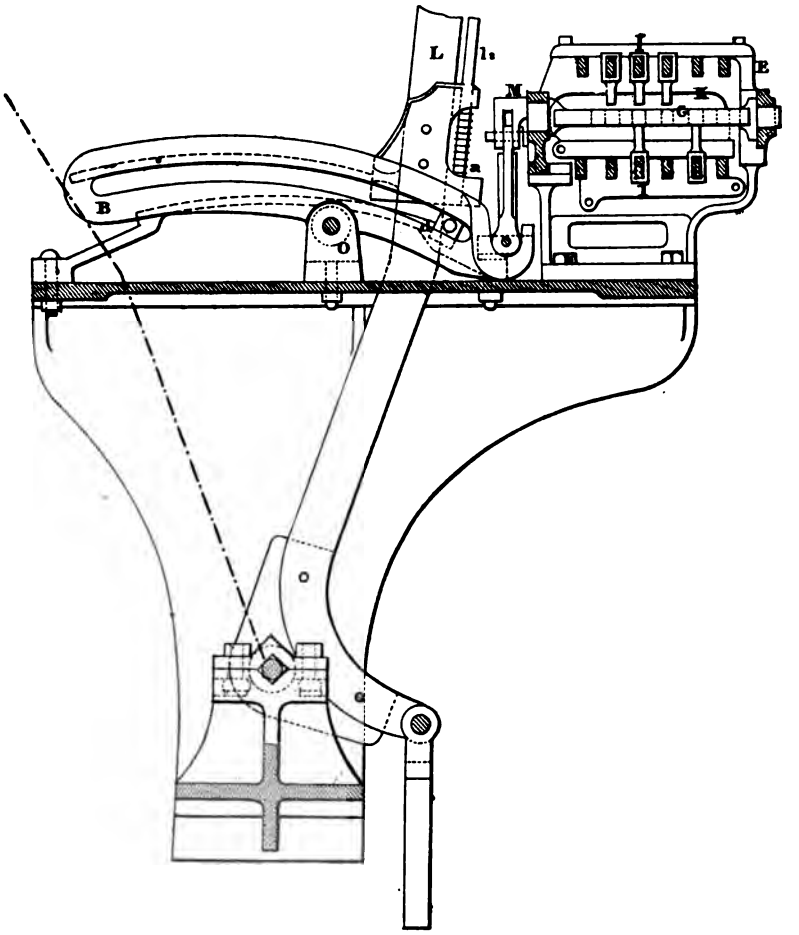


Fig. 431. — Appareil Saxby et Farmer. — Coupe en travers. — (Echelle $\frac{1}{10}$).

outre, la tige l_2 porte à sa partie inférieure un coulisseau d qui, pendant le mouvement du levier, glisse dans la coulisse B.

Quand on veut manœuvrer un levier pour le renverser, on saisit en même temps que ce levier la poignée à ressort l, ce qui a pour résultat de dégager la tige l_2 du cran b et de soulever le coulisseau d ; on communique ainsi à la coulisse B un léger mouvement d'oscillation autour de son axe O. En outre, pour que cette oscillation s'achève, il faut que le levier arrive à la fin de sa course, de manière que l'extrémité de la tige l_2 vienne se placer dans

le deuxième cran d'arrêt *b* et que le coulisseau *d* puisse prendre sa position extrême dans la coulisse.

Si l'on remarque maintenant que le mouvement de cette coulisse B produit, par l'intermédiaire d'une bielle D et d'une manivelle M, la rotation d'un *gril* G percé d'ouvertures rectangulaires, au-dessus et au-dessous desquelles sont alignées des tringles I dépendant de la barre d'enclenchement horizontale K, et que c'est l'introduction de ces tringles dans les ouvertures du gril qui produit l'enclenchement des leviers qui doivent être enclenchés

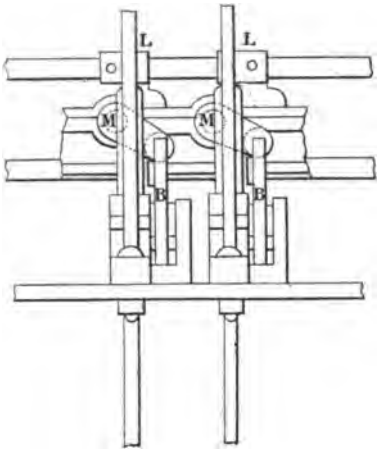


Fig. 432. — Appareil Saxby et Farmer. — Elévation de face. — (Echelle $\frac{1}{10}$).

par le levier L, on tirera de la description qui précède les deux conséquences suivantes :

1° Dès qu'on appuie sur la poignée à ressort pour commencer la manœuvre du levier L, la coulisse se déplace et, par suite, on paralyse par ce seul mouvement tous les leviers qui doivent être enclenchés par la position finale du levier;

2° Tant que ce levier n'est pas arrivé à la fin de sa course, la coulisse n'achève pas son oscillation et, par suite, aucun des leviers qui doivent être dégagés par la manœuvre dont il s'agit ne se trouve déclenché ; ce déclenchement ne se produit que lorsque, le levier L ayant terminé sa course, l'extrémité de la tige l_2 vient se loger dans le cran d'arrêt du secteur fixe.

En d'autres termes, les leviers qui doivent être enclenchés le sont dès que l'on a saisi la poignée à ressort, tandis que ceux qui doivent être déclenchés ne le deviennent que lorsque le levier enclencheur est arrivé à l'extrémité de sa course.

Telle est la disposition essentielle de l'appareil Saxby et Farmer; c'est elle qui constitue la principale supériorité du système.

Ajoutons qu'en arrière de la table d'enclenchement se trouve monté un

support T qui porte une tablette S, en bois recouvert de cuivre, sur laquelle est inscrite la nomenclature des leviers. De plus, chaque levier porte lui-même une plaquette en cuivre sur laquelle sont inscrits le numéro de ce levier et l'ordre dans lequel on doit manœuvrer les autres leviers enclenchés avec lui. Toutes ces indications se trouvent donc placées sous les yeux du signaleur, qui ne peut ainsi commettre aucune erreur.

L'appareil dont nous venons de décrire la partie essentielle et qui est à grils horizontaux, est le type anglais, tel que le construisent actuellement MM. Saxby et Farmer ; il a été adopté en France par les compagnies du Nord, de l'Orléans et de l'Est, et par le réseau de l'État. La compagnie P.-L.-M. emploie un type qui diffère du précédent en ce que les grils sont verticaux ; cette disposition permet de donner à la cabine une section transversale plus réduite qu'avec les grils horizontaux. La compagnie y trouve en outre l'avantage de rendre les enclenchements plus visibles et de réaliser avec plus de facilité un système d'enclenchements conditionnels permettant de manœuvrer un signal par un seul levier, quel que soit le nombre de directions que le signal commande.

Le type Vignier et le type Saxby et Farmer ne sont pas les seuls procédés qui permettent de réaliser les enclenchements mécaniques ; il en existe un assez grand nombre d'autres, reposant sur des principes différents, employés soit en France, soit à l'étranger. On en trouvera la description complète dans les articles de M. Cossmann déjà cités ; on y trouvera également des détails intéressants relativement à des enclenchements réalisés *à distance*, qui diffèrent de ceux dont nous venons de parler en ce que l'enclenchement, au lieu de se faire au point même d'où les appareils sont manœuvrés, est reporté sur les appareils eux-mêmes à une distance plus ou moins grande de ce point. La nécessité de ces enclenchements résulte de ce que, dans certains cas, le signaleur ne doit pas manœuvrer certains leviers de son poste sans en avoir reçu l'autorisation expresse d'agents placés en d'autres points de la gare ; ces agents doivent, par conséquent, pouvoir enclencher ces leviers à distance.

Au nombre des systèmes usités pour obtenir ce résultat nous citerons la *Serrure Annett*, employée sur l'Ouest, sur l'Est et sur le Nord, les *appareils désengageurs*, utilisés par plusieurs compagnies pour empêcher, à distance, un signaleur d'effacer un certain nombre de disques manœuvrés par son poste et le *verrouillage à distance* des plaques tournantes.

La *serrure Annett* est un appareil extrêmement simple, qui se prête à un grand nombre de combinaisons, et qu'on a appliqué en Angleterre aux appareils d'enclenchement proprement dit. Sur les réseaux de l'Ouest et du Nord, on l'emploie pour cadenasser, dans les petites stations, certaines aiguilles éloignées.

Reportons-nous, par exemple, à la figure 316 (tome II, p. 7), qui représente la disposition des voies d'une petite station sur les lignes à double voie. Nous avons vu que les trains pairs, ceux qui suivent la voie 2, sont obligés, pour leurs manœuvres dans la gare, de refouler par la bretelle *bb'* sur la voie principale opposée n° 1 ; or il est indispensable, pour que ces manœuvres se fassent avec sécurité, que le disque avancé qui protège la voie 1 soit fermé pendant qu'elles ont lieu. Pour mettre les agents dans l'impossibilité d'oublier cette prescription importante, on place sur l'aiguille *b* une serrure, disposée de telle sorte que la manœuvre de l'aiguille est impossible tant que la serrure n'est pas ouverte ; cette serrure ne peut être ouverte que par une clef spéciale fixée dans une serrure semblable placée sur le levier de manœuvre du signal de la voie 1, et cette clef ne peut être enlevée de ce levier que lorsque le signal est dans la position de voie fermée. La clef unique qui existe dans la gare ne pouvant être à la fois dans les deux serrures et ne pouvant être retirée de chacune d'elles que lorsqu'elle est fermée, on est certain, lorsqu'on manœuvre l'aiguille *b*, que la voie 1 est couverte par son signal.

L'emploi de la serrure Annett est avantageux dans les petites gares, lorsque le nombre des manœuvres à faire sur une aiguille est très faible et ne justifierait pas les dépenses d'une transmission d'enclenchement ordinaire. Au lieu de placer la serrure Annett sur les leviers de manœuvres d'un signal ou d'une aiguille, on peut également la placer sur les barres d'enclenchements solidaires des mouvements de ces leviers.

Nous citerons également les serrures *Bouré*, inventées par M. Bouré, inspecteur principal à la compagnie P.-L.-M. et qui permettent de réaliser, dans de petites gares ou dans des stations de moyenne importance, des enclenchements économiques comportant un grand nombre de combinaisons. Le système Bouré comprend, dans sa forme la plus complète, une serrure centrale dans laquelle viennent s'emprisonner les clefs des serrures placées sur les divers appareils de la gare, et cette serrure centrale permet d'établir entre ces clefs, et par suite entre les leviers des appareils, les mêmes relations qu'un appareil Vignier ou Saxby.

On trouvera dans les *Annales des Mines* une note de M. L. Janet, ingénieur des Mines, qui donne la description complète de ce système d'enclenchements, dont les applications sont de plus en plus nombreuses [1].

Les *appareils désengageurs* sont employés dans le but de permettre à une gare, quelle que soit la distance qui la sépare d'un poste, d'empêcher ce poste d'effacer certains signaux par lesquels la gare a besoin d'être cou-

[1] On consultera également avec fruit une intéressante étude des enclenchements économiques présentée au Congrès international des Chemins de fer (Paris 1900), par M. Le Grain, alors ingénieur en chef adjoint de l'exploitation des Chemins de fer de l'Etat. On trouvera aux annexes du présent volume une note reproduisant la consigne qui règle, sur le réseau de l'État, l'emploi et la manœuvre des serrures Bouré.

verte. Le désengageur de la compagnie du Nord, construit par MM. Saxby et Farmer, constitue un relais dans la transmission des signaux, qui peut se placer à une distance quelconque entre la gare et le poste considérés. Un fil spécial manœuvré de la gare permet, au moyen d'une équerre et d'un contrepoids placés au relais, de soustraire les signaux en question à l'action du stationnaire du poste.

Il est nécessaire, lorsqu'on emploie des appareils de cette nature :

1° Que l'agent de la gare sache si l'appareil désengageur a bien fonctionné ;

2° Que le stationnaire du poste soit averti lorsque la transmission des signaux d'arrêt est occupée, afin qu'il ne cherche pas à les effacer au même moment ;

3° Enfin, que l'agent de la gare soit, à son tour, prévenu lorsque le signal d'arrêt est effacé pour la réception d'un train, afin qu'il ne coupe pas à ce moment la transmission du signal, qui se fermerait pendant le passage du train.

Pour répondre à cette triple nécessité, la compagnie du Nord a installé sur le désengageur de Saxby et Farmer un système de contrôle électrique obtenu par l'emploi de commutateurs analogues à ceux qui sont utilisés pour le contrôle des disques à distance.

En outre, pour empêcher matériellement le stationnaire du poste de manœuvrer les signaux, dont la gare a coupé la transmission au moyen du désengageur, la gare les enclenche à distance au moyen d'une *safety-lock* qu'elle manœuvre en même temps que le fil du désengageur ; le safety-lock est une simple serrure horizontale, placée à l'intérieur de la cabine du poste et dont l'action a pour effet de rendre impossible le déplacement des leviers des signaux de cette cabine.

L'enclenchement à distance des plaques tournantes a pour but, soit de verrouiller une plaque dans une disposition déterminée, si elle se trouve située sur une voie principale, soit d'empêcher qu'elle ne serve à diriger des wagons d'une voie latérale sur une traversée des voies principales. La plaque ne peut être décalée que si les signaux nécessaires ont été faits. Dans les deux cas, l'organe d'enclenchement est formé d'un verrou qui peut pénétrer dans une mortaise pratiquée sur la plaque. Le verrouillage des plaques tournantes est appliqué d'une manière courante, en Angleterre et en Belgique. En France, il est également employé quoiqu'à un moindre degré.

Nous signalerons enfin, parmi les récents perfectionnements apportés aux enclenchements, le système des *leviers d'itinéraire* pour la commande à distance des aiguilles et des signaux (système Bleynie et Ducousso) appliqué pour la première fois par la compagnie du Midi, en janvier 1903, au poste n° 1 de la gare de Bordeaux-Saint-Jean et adopté depuis dans diverses autres gares.

La description complète du système et des postes où il est employé se trouve dans la *Revue générale des Chemins de fer* (octobre 1903). Nous indiquerons seulement ici le principe sur lequel il repose.

Dans les systèmes habituels de commande à distance, un levier distinct est spécialement affecté à la manœuvre de chaque aiguille, signal ou appareil de voie; pour chaque mouvement d'un train opérant dans la zone d'action du poste, l'aiguilleur doit successivement *préparer* l'itinéraire à suivre, en renversant un certain nombre de leviers, *enclencher l'itinéraire*, c'est-à-dire fixer dans la position convenable les leviers des appareils situés sur cet itinéraire, enfin *autoriser le passage* en ouvrant les signaux correspondants.

Le système Bleynie et Ducousso a essentiellement pour objet de permettre d'obtenir le même résultat par le renversement d'un seul levier, dit levier d'itinéraire. Nous ne pouvons donner ici la description des différents organes qui sont employés dans ce but; nous dirons seulement que l'emploi des leviers d'itinéraires comporte nécessairement celui de moteurs spéciaux pour la manœuvre des signaux, aiguilles et appareils de voie, attendu que l'effort musculaire qu'on peut demander pratiquement à un aiguilleur est absolument insuffisant pour qu'il puisse manœuvrer directement, d'un seul coup de levier, un grand nombre de ces appareils. Les moteurs peuvent d'ailleurs être de l'un quelconque des types déjà usités (électrique, électro-pneumatique, hydrodynamique, à air comprimé, etc.); car le système n'a pas pour but d'actionner par ses moyens propres les appareils dépendant du poste, mais seulement d'établir entre les moteurs des appareils et la source d'énergie qu'ils utilisent les relations nécessaires pour réaliser le programme de fonctionnement qu'on a en vue. A la gare de Bordeaux-Saint-Jean les moteurs employés sont du système électrique. La compagnie du Midi se déclare très satisfaite des résultats obtenus, qui permettent de diminuer le nombre des coups de levier d'un poste pour un temps donné, ainsi que la dépense du personnel des aiguilleurs.

Nous terminerons ici ces explications sur le mécanisme des appareils d'enclenchement; elles suffisent, croyons-nous, pour faire comprendre les caractères essentiels du système et pour donner une idée des innombrables applications dont il est susceptible. Nous ajouterons seulement quelques mots sur ce qu'on peut appeler la *Théorie des Enclenchements*, c'est-à-dire l'exposé des différentes combinaisons qu'on peut réaliser par leur emploi [1].

Les leviers entre lesquels sont établies des relations d'enclenchement peuvent occuper deux positions : la position *normale* et la position *renver-*

[1] Voir à ce sujet, ainsi que pour les diverses questions relatives aux enclenchements, un Rapport de M. Heurteau, ingénieur en chef des Mines, inséré aux *Annales des ponts et chaussées* (2e semestre 1880), l'*Etude sur les signaux des chemins de fer français*, par MM. Brame et Aguillon et le *Cours de Chemins de fer* de M. Bricka.

sée. La première correspond à la situation de repos du levier, c'est celle qui répond à la circulation normale; la seconde correspond à la situation que l'appareil ou le signal doit prendre momentanément pour permettre une circulation autre que la circulation normale.

Considérons un certain nombre de leviers α, β, γ... etc.; le levier α, soit dans sa position normale, soit dans sa position renversée, pourra enclencher un certain nombre de leviers β, γ,... soit dans leur position normale, soit dans leur position renversée. On voit qu'il peut résulter de là un grand nombre de combinaisons. En effet, si l'on considère n leviers, le nombre des arrangements auxquels donnent lieu leurs 2 n positions est :

$$L_n = (n+1)(n+2)(n+2)\ldots\ldots 2n;$$

Si l'on fait $n = 3$, on trouve $L = 120$, mais, parmi ces arrangements, il en est qui doivent être éliminés, parce qu'ils n'ont aucune signification au point de vue des enclenchements ; en outre, l'enclenchement, tel que nous l'avons défini, ne s'applique le plus souvent qu'à deux leviers.

Bornons-nous donc au cas de deux leviers, α et β, et adoptons, pour faciliter les explications, la notation suivante imaginée par M. Cossmann : α désignant un levier, on représente par αN et αR chacune des deux positions de ce levier, normale et renversée. De plus, pour indiquer que le levier α, dans sa position normale, enclenche le levier β, dans sa position renversée, on écrit :

$$\frac{\alpha N}{\beta R},$$

le levier enclencheur étant pris comme numérateur et le levier enclenché comme dénominateur. Cette notation se lit de la manière suivante : α normal enclenche β renversé, le trait horizontal remplaçant le mot « enclenche ».

Si on fait $n = 2$ dans la formule des arrangements, on trouve :

$$L_2 = 12,$$

c'est-à-dire qu'il y a douze arrangements résultant des quatre positions αN, αR, βN, βR.

Mais quatre de ces arrangements doivent être éliminés, parce qu'ils ne renferment que les deux positions d'un même levier, ce qui n'a aucun sens au point de vue des enclenchements. Il reste seulement les huit types suivants :

$$1^\circ \ldots \frac{\alpha N}{\beta N} \qquad 2^\circ \ldots \frac{\alpha N}{\beta R} \qquad 3^\circ \ldots \frac{\alpha R}{\beta N} \qquad 4^\circ \ldots \frac{\alpha R}{\beta R}$$

$$5^\circ \ldots \frac{\beta N}{\alpha N} \qquad 6^\circ \ldots \frac{\beta N}{\alpha N} \qquad 7^\circ \ldots \frac{\beta R}{\alpha N} \qquad 8^\circ \ldots \frac{\beta R}{\alpha R}$$

Les quatre dernières combinaisons ne diffèrent des quatre premières que par la permutation des deux leviers α et β ; elles leur sont donc théoriquement identiques.

En outre, ces quatre premières combinaisons peuvent elles-mêmes se réduire à deux. En effet, les types 2 et 4 peuvent rentrer respectivement dans les types 1 et 3 à la condition de considérer comme position normale de β celle que l'on considérait d'abord comme renversée; or, cela est parfaitement permis, puisqu'au fond, c'est par une convention du langage que l'une des deux positions d'un levier est considérée comme normale et l'autre comme renversée.

Il résulte de là que toutes les combinaisons indiquées ci-dessus peuvent théoriquement se réduire à deux, savoir :

$$\frac{\alpha N}{\beta N}, \qquad \frac{\alpha R}{\beta N}.$$

C'est la conclusion à laquelle arrive M. Cossmann. Mais M. Heurteau a fait remarquer qu'il pouvait y avoir utilité en pratique à réaliser directement la combinaison

$$\frac{\alpha R}{\beta R},$$

et que, pour qu'un système d'enclenchement soit complet, il fallait qu'il pût réaliser ce type comme les deux autres.

Remarquons maintenant que, dans l'emploi des pièces mécaniques animées de mouvement alternatif, on peut considérer comme évident le principe suivant, qu'on appelle *principe de réciprocité :*

Si un levier, dans une de ses positions, enclenche un autre levier dans une position donnée, réciproquement ce second levier dans une position inverse enclenchera le premier dans la position inverse de celle qu'il avait dans la première relation.

Par suite, les trois combinaisons précédemment indiquées ont pour réciproques obligées les trois suivantes :

$$\frac{\beta R}{\alpha R}, \quad \frac{\beta R}{\alpha N}, \quad \frac{\beta N}{\alpha N}.$$

On arrive donc finalement à cette conclusion que, pour qu'un système d'enclenchement du genre de celui que nous considérons soit complet, il faut et il suffit qu'il puisse réaliser les trois combinaisons suivantes :

$$\text{I. } \frac{\alpha N}{\beta N}, \qquad \text{II. } \frac{\alpha R}{\beta N}, \qquad \text{III. } \frac{\alpha R}{\beta R},$$

lesquelles entraînent respectivement les réciproques suivantes :

$$\text{I. } \frac{\beta R}{\alpha R}, \qquad \text{II. } \frac{\beta R}{\alpha N}, \qquad \text{III. } \frac{\beta N}{\alpha N}.$$

Nous avons supposé dans ce qui précède qu'un levier, dans une de ses positions, n'enclenchait le second que dans *l'une ou l'autre* de ses deux positions, normale ou renversée ; c'est ce qu'on appelle l'enclenchement *simple*, le plus usité dans la pratique. Mais l'occasion se présente assez fréquemment aussi de réaliser une relation dans laquelle un levier enclenche le second dans *l'une et l'autre* de ses deux positions ; on a alors ce qu'on peut appeler l'enclenchement *double*, représenté par la notation.

$$\frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R}.$$

Ce cas se présente, par exemple, lorsqu'un levier commande le verrou destiné au calage d'une aiguille ; ce levier doit pouvoir enclencher celui de l'aiguille dans l'une et l'autre de ses deux positions, c'est-à-dire que l'aiguille soit faite pour la voie de gauche ou pour celle de droite. C'est un exemple d'enclenchement double qui se rencontre fréquemment dans la pratique.

Un autre cas d'enclenchement double se présente lorqu'une aiguille en pointe se trouve précédée d'un disque normalement fermé ; dans ce cas, l'aiguille doit pouvoir être faite pour l'une ou l'autre des deux directions, après que le disque a été effacé.

Si l'on faisait pour les enclenchements doubles un raisonnement analogue à celui que nous avons fait pour les enclenchements simples, on arriverait à trouver qu'il n'y a à considérer dans ce cas que les deux combinaisons suivantes :

$$\text{IV.}\quad \frac{\alpha N}{\beta N \text{ et } \beta R},$$

$$\text{V.}\quad \frac{\alpha R}{\beta N \text{ et } \beta R}.$$

Pour trouver les réciproques de ces deux combinaisons, il faut en prendre la contre-partie, ce qui conduit aux deux types suivants :

$$\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha N}$$

et

$$\frac{\beta \text{ pendant sa course}}{\alpha R}$$

Ces deux combinaisons n'ont pas d'intérêt en pratique.

En somme, toutes les combinaisons qu'il est nécessaire et suffisant de réaliser dans les enclenchements binaires sont comprises dans les types I, II, III, IV et V, définis ci-dessus.

Si l'on passe maintenant aux enclenchements de plus de deux leviers, les combinaisons qu'on peut réaliser sont extrêmement variées et il serait

sans intérêt d'essayer d'en faire un classement. Nous citerons, par exemple, la suivante, qui est un enclenchement *conditionnel* entre trois leviers :

$$\text{Si } \alpha \text{ N, } \frac{\beta R}{\gamma N},$$

c'est-à-dire :

Le levier β renversé enclenche le levier γ dans sa position normale, lorsque le levier α est lui-même dans sa position normale.

La réciproque est la suivante :

$$\text{Si } \alpha \text{ N, } \frac{\gamma R}{\beta N}.$$

c'est-à-dire :

Le levier γ renversé enclenche le levier β dans sa position normale, lorsque le levier α est lui-même dans sa position normale.

Ces enclenchements ont été réalisés à la gare de Moret (P.-L.-M.).

On les nomme conditionnels parce que l'enclenchement du levier γ par le levier β et réciproquement ne se produit qu'à la condition que le troisième levier α soit dans une position déterminée. Ce genre d'enclenchements contient un nombre presque illimité de combinaisons, dont un certain nombre ont été réalisées dans différents cas.

Applications des enclenchements. — L'emploi des appareils d'enclenchement est devenu courant aujourd'hui sur les chemins de fer : cet emploi a d'ailleurs été prescrit aux compagnies françaises par la circulaire ministérielle du 13 septembre 1880, qui a été édictée à la suite de l'avis de la Commission d'enquête de 1879-1880, dont nous avons déjà parlé. D'après cette circulaire, les compagnies étaient invitées à prendre leurs dispositions pour appliquer ou étendre progressivement l'emploi des appareils d'enclenchement aux bifurcations, aux groupes d'aiguilles les plus importants, aux aiguilles isolées donnant accès sur les voies principales, de telle sorte que ces voies ne puissent être ouvertes que si elles sont protégées par un signal fixe à l'arrêt. L'application de ces appareils d'enclenchement devait être complète au 1er janvier 1882.

A la suite d'accidents occasionnés par l'obstruction de voies principales, dans les gares, au moment du passage des trains rapides, une nouvelle circulaire a été adressée aux compagnies le 6 août 1883 pour les inviter à développer encore davantage le système des enclenchements.

En raison de l'importance que présente cette circulaire, nous croyons devoir en reproduire textuellement les dispositions. D'après l'avis de la commission spéciale qui avait été instituée pour étudier la question, les différents cas dans lesquels on doit rendre l'enclenchement obligatoire sont les suivants :

1. — LIGNES A DOUBLE VOIE

1° *Aiguilles en pointe sur les voies principales.* — En cas de dédoublement des voies principales dans les gares, si l'un des rameaux vient rejoindre ou croiser une autre voie principale, il conviendra d'enclencher l'aiguille avec un signal, placé sur cette dernière voie, pour couvrir la jonction ou la traversée, de telle sorte que l'accès de cette jonction ou traversée ne soit permis que d'un seul côté à la fois, étant interdit, de l'autre côté, par un signal ou matériellement par l'aiguille.

Si l'aiguille en pointe conduit à une voie de garage ou de service, *elle devra être enclenchée avec le signal à distance, de façon à interdire aux trains l'approche de l'aiguille toutes les fois que celle-ci ne sera pas disposée de manière à assurer la continuité de la circulation sur la voie principale.*

En outre, *on devra placer, sur la voie latérale, soit un signal, soit un taquet ou tout autre moyen d'arrêt compris dans l'enclenchement.*

L'intérêt de ces combinaisons est surtout considérable dans les stations où tous les trains ne s'arrêtent pas.

Dans une gare où la voie principale se dédouble, s'il y a des trains qui passent sans arrêt, les voies principales que ces trains n'empruntent pas peuvent être traitées comme des voies accessoires.

2° *Aiguilles prises en talon, formant jonction de plusieurs voies principales.* — En pareil cas, il n'y aura pas, en général, intérêt à faire entrer l'aiguille elle-même dans la combinaison d'enclenchement ; mais on pourra utilement placer, sur les diverses voies, des signaux enclenchés entre eux, de manière à ne pas permettre la sortie simultanée de plusieurs trains.

Si des trains doivent franchir la station sans s'y arrêter, les signaux des voies principales, autres que celles qui sont parcourues par ces trains, pourront être enclenchés avec les signaux à distance qui couvrent la gare.

3° *Aiguilles prises en talon et donnant accès à des voies de service qui ne rencontrent nulle part ailleurs les voies principales.* — En semblable circonstance, pour empêcher que des véhicules, arrivant par des voies de service, ne viennent encombrer la voie principale, sans que celle-ci ait été préalablement couverte, on placera sur la voie latérale soit un *signal*, soit un *taquet d'arrêt*, soit enfin — lorsque la disposition des lieux le permet — une *aiguille de sécurité* conduisant à une voie en cul-de-sac, ces divers appareils étant d'ailleurs enclenchés avec le signal avancé de la voie principale.

4° *Aiguilles en talon donnant accès à des voies de service qui vont traverser ou rejoindre une autre voie principale.* — Ce cas se présente dans presque toutes les gares. Très souvent, en effet, la voie du service local des marchandises se raccorde aux deux voies principales par des aiguilles en talon et traverse obliquement l'une de ces voies. On rencontre aussi, dans les gares, des *liaisons de voies.*

Ici il y a un certain intérêt à ce que chacune des aiguilles soit enclenchée avec le signal à distance de la voie sur laquelle elle est située ; mais ce qui est essentiel, *c'est que l'aiguille soit enclenchée avec les signaux de l'autre voie principale*, de façon à éviter qu'un train refoulé sur l'aiguille ne vienne obstruer l'autre voie principale au moment où un train y passe sans arrêt.

Indépendamment des causes de danger qui naissent sur une des voies principales et vont intéresser l'autre, il y a lieu de protéger l'une et l'autre voie principale contre les manœuvres qui s'effectuent sur la voie accessoire. Ainsi *une traversée* pourra être protégée, dans de bonnes conditions, par une voie de sécurité dont l'aiguille sera enclenchée avec les signaux ou au moins pourvue d'un contrepoids fixe.

Traversée d'équerre. — Ces voies, dont l'accès est ordinairement donné par des plaques tournantes, n'ont pas, en général, un développement suffisant pour qu'il soit possible d'y

placer utilement un signal ; mais on peut protéger la voie principale au moyen d'un *taquet* ou *bloc d'arrêt*, placé près de celle-ci et qui, par l'effet de l'enclenchement, ne permet le passage de la traversée que lorsque la voie principale est couverte.

Ces blocs d'arrêt, même sans enclenchement, peuvent rendre de grands services sur les traversées d'équerre. Ils seraient disposés normalement de manière à interdire la traversée, et il ne serait permis de les écarter qu'au moment même de faire passer un véhicule. On pourrait, d'ailleurs, faire en sorte qu'ils reprissent automatiquement leur position normale.

Quant aux traversées à niveau de lignes en pleine voie, elles doivent être protégées par des signaux enclenchés entre eux, au même titre que les bifurcations.

II. — LIGNES A VOIE UNIQUE

Les lignes à voie unique se dédoublent, en général, dans les stations, pour permettre le croisement des trains, et, le plus souvent, chacune des voies dédoublées est affectée exclusivement aux trains circulant dans un sens donné.

Dans ce cas, la partie de la gare comprise entre les deux aiguilles de dédoublement rentre exactement dans les conditions des lignes à double voie et doit être traitée comme il est dit ci-dessus pour ces lignes.

Mais il arrive quelquefois que l'une des deux voies de dédoublement est affectée à la circulation des trains marchant dans les deux sens. Les aiguilles intermédiaires sont prises alors par les trains, tantôt en pointe, tantôt en talon. Le même fait se produit aux points de jonction des voies de garage situées en dehors des aiguilles de dédoublement de la voie unique. On doit, dans ces derniers cas, appliquer les règles tracées pour les aiguilles, soit en pointe, soit en talon, situées sur les voies principales des lignes à double voie.

C'est surtout pour les trains qui abordent les aiguilles par la pointe, qu'il importe de conjurer les conséquences d'une fausse direction, par un enclenchement qui ne permette à un train d'arriver, de ce côté, par la voie principale, que lorsque l'aiguille assure bien en réalité la continuité de cette voie.

Quant aux aiguilles de dédoublement de la voie unique, elles peuvent être enclenchées avec le signal à distance, de manière à ne permettre l'entrée des trains que lorsqu'elles sont convenablement tournées ; mais à défaut d'enclenchement, la sécurité semble suffisamment garantie par l'emploi d'un contrepoids fixe.

III. — AIGUILLES A CONTREPOIDS FIXE ET A CONTREPOIDS MOBILE

Avec les enclenchements, qui exigent en général la réunion des leviers par groupes, un homme doit être spécialement chargé de la manœuvre des leviers. C'est là une complication de personnel dans les gares peu importantes, qui n'ont pas un service spécial d'aiguilleurs.

Dans beaucoup de cas, il est vrai, le *contrepoids fixe* des aiguilles, rivé ou simplement fixé par une cheville cadenassée, peut suppléer à l'enclenchement. Mais il n'en est pas de même pour les aiguilles à *contrepoids mobile*, qui, étant d'un usage peu fréquent, sont condamnées habituellement au moyen de chaînes ou de verrous cadenassés. En effet, les aiguilles de cette catégorie, lorsqu'on les a utilisées pour une manœuvre, ne reprennent pas *automatiquement* leur position normale. On peut donc toujours craindre que les agents, après les avoir manœuvrées, négligent de les remettre dans cette position. Elles doivent dès lors être comprises, quand il y a lieu, dans les combinaisons d'enclenchement.

D'après ces diverses considérations, la commission a proposé les conclusions suivantes :

« 1° Dans toute gare où l'importance des manœuvres est suffisante pour motiver l'emploi

d'agents affectés, exclusivement et d'une manière apparente, au service des aiguilles, on devra garantir les trains en marche, d'une part, contre les fausses directions, d'autre part, contre l'arrivée intempestive de véhicules provenant des voies latérales, au moyen d'enclenchements établis d'après les bases exposées ci-dessus et réalisant la solidarité convenable entre les aiguilles, signaux ou autres appareils des diverses voies, soit principales, soit accessoires ;

« 2° On devra, dans tous les cas, protéger les voies principales par des enclenchements, à leur jonction avec les voies donnant accès à des remises ou dépôts de plus de quatre machines ; il en sera de même aux points où sont établis des garages en pleine voie ;

« 3° Toutefois l'emploi de contrepoids fixes ou à cheville cadenassée, ou de dispositions équivalentes donnant normalement aux aiguilles la direction convenable pour assurer la sécurité de la circulation, pourra, dans certains cas, dispenser de les enclencher ;

« 4° Dans les gares où il n'y a pas lieu, d'après ce qui précède, d'appliquer les enclenchements, toute aiguille, formant jonction d'une voie principale et d'une voie accessoire, doit être pourvue d'un contrepoids fixe ou à cheville cadenassée, ou d'une disposition équivalente assurant normalement la continuité de la voie principale dans les deux cas suivants :

« A. Lorsqu'elle est prise *en pointe* par des trains ;

« B. Lorsque la voie accessoire rencontre quelque part une autre voie principale ;

« 5° Il y a lieu d'appeler l'attention des compagnies sur l'utilité de protéger les voies principales par des *voies de sécurité*, toutes les fois que la disposition des lieux le permet et, à défaut de ces voies, par des *taquets* ou *blocs d'arrêt* enclenchés ;

« 6° Les dispositions qui précèdent sont applicables sur les lignes à voie unique ; toutefois, pour les aiguilles de dédoublement des voies principales, l'enclenchement pourra être remplacé par l'emploi d'un contrepoids fixe ou à cheville cadenassée, ou d'une disposition équivalente donnant normalement la direction convenable ;

« 7° Les croisements à niveau de deux lignes en pleine voie devront être protégés par l'enclenchement des signaux des deux lignes, au même titre que les bifurcations. »

Une circulaire du 4 mai 1885 a rappelé aux compagnies, d'une manière pressante, les recommandations faites par les précédentes circulaires et les a invitées à réaliser, dans le plus bref délai, l'application des enclenchements dans les conditions ci-dessus.

A titre d'exemple très simple de l'emploi de ces appareils, nous donnons

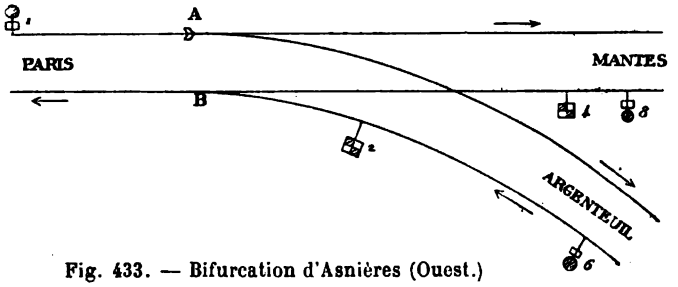


Fig. 433. — Bifurcation d'Asnières (Ouest.)

la disposition adoptée aux bifurcations de la compagnie de l'Ouest. La figure 433 représente la bifurcation d'Asnières.

Deux lignes à double voie s'y réunissent au moyen des deux aiguilles

A et B; ce sont les lignes de Mantes à Paris et d'Argenteuil à Paris. La bifurcation est munie des signaux suivants :

1° Trois signaux avancés avec indicateurs de bifurcation, 1, 6 et 8, destinés à protéger à distance les voies principales, lorsqu'elles sont occupées à l'embranchement ou à ses abords;

2° Deux signaux carrés d'arrêt absolu, 2 et 4, un pour chacune des directions de l'embranchement, afin de pouvoir en interdire l'accès aux trains qui se présenteraient lorsque les voies y sont occupées.

En outre, des enclenchements du système Vignier sont établis de la manière suivante :

Le signal 4 est enclenché :

1° Avec le signal 8, de manière que ce dernier soit fermé avant que l'on ferme le signal 4;

2° Avec le signal 2, de manière que chacun de ces deux signaux ne puisse être ouvert que si l'autre est fermé;

3° Avec l'aiguille A, de manière que celle-ci ne puisse être faite pour la direction de droite que lorsque le signal 4 est tourné à l'arrêt.

En principe, l'une des trois directions est toujours normalement ouverte au passage des trains, qui doivent seulement modérer leur vitesse jusqu'au chiffre de 20 kilomètres à l'heure; c'est ici la direction des trains de Paris à Mantes qui est toujours ouverte. Au contraire, celle des trains d'Argenteuil à Paris est normalement fermée et tous les trains venant de cette direction doivent s'arrêter au signal 2, qui est normalement tourné à l'arrêt; ces trains ne peuvent pénétrer sur la grande ligne que lorsque le garde de l'embranchement leur a ouvert ce signal, ce qui ne peut se faire qu'en mettant le signal 4 à l'arrêt.

Aucune rencontre n'est donc possible entre les trains qui passent à la bifurcation.

Dépenses d'installation des enclenchements. — La dépense d'installation des appareils Saxby et Farmer varie beaucoup avec le nombre des leviers et surtout avec la distance qui sépare la cabine des aiguilles à manœuvrer.

Cette cabine coûte de 1 500 à 1 800 francs, suivant qu'elle est faite pour 12 ou 20 leviers et en lui supposant une hauteur minima de 1,80 m. au-dessus du sol; quand la hauteur augmente, on peut compter sur une dépense de 60 à 100 francs par mètre de hauteur en sus jusqu'à 5 mètres.

Chaque levier enclenché coûte 200 francs; les transmissions rigides coûtent de 5 à 6 francs le mètre courant, non compris les compensateurs, qui sont évalués à 45 francs et les retours d'équerre qui sont de 26 francs.

Les transmissions rigides complètes, en y comprenant les retours d'équerre et les compensateurs, reviennent ainsi à 8 ou 10 francs le mètre courant.

Le fil de transmission des signaux coûte environ 0,60 fr. le mètre.

En somme, on peut admettre que, sauf des circonstances exceptionnelles, un poste d'enclenchement Saxby et Farmer revient à 1 000 francs environ par levier, quand on y comprend la fourniture et la pose des transmissions et des mâts de signaux.

Ainsi que nous l'avons vu, l'emploi des transmissions par fils pour la manœuvre des aiguilles est de nature à amener une économie considérable dans la dépense d'installation des enclenchements.

Enfin l'adoption des serrures Bouré permet d'établir dans certains cas des enclenchements à peu de frais : le prix de chaque serrure simple est en effet de 20 francs; les serrures centrales coûtent 10 francs par clef.

Bibliographie. — La littérature relative aux enclenchements est extrêmement abondante. Nous citerons seulement, parmi les nombreux articles publiés sur cette question, et indépendamment de ceux qui ont déjà été signalés :

Revue générale des Chemins de fer, décembre 1883. — Note sur substitution des enclenchements électriques aux enclenchements mécaniques dans les postes de concentration d'appareils par M. Bramse.

Revue générale des Chemins de fer, juin 1886. — Note sur une solution générale des enclenchements ternaires, par M. Pichon.

Annales des Mines, juillet et août 1889. — Rapport sur les divers systèmes de signaux en usage et l'application des appareils d'enclenchement pour la protection des bifurcations, par M. Heurteau.

Revue générale des Chemins de fer, mars 1898. — Étude sur les enclenchements, par M. Descubes. (Cette étude peut être considérée comme faisant suite au chapitre « Enclenchements » du *Cours de Chemins de fer* de M. Bricka.)

CHAPITRE IV

DÉPENSE DE LA SUPERSTRUCTURE

La dépense de la superstructure d'un chemin de fer peut être évaluée moyennement avec plus d'exactitude que celle qui correspond à l'établissement de la plate-forme, parce qu'elle se compose d'éléments qui sont beaucoup moins variables d'une ligne à l'autre.

On peut faire cette évaluation en la répartissant en trois chapitres, savoir :

1° La voie ;

2° Les stations;

3° Les dépenses accessoires.

Nous considérerons seulement ici les lignes à voie unique, attendu que, sauf des exceptions fort rares, on ne pose jamais qu'une voie au moment de la construction de la ligne, que sa plate-forme ait été établie pour une voie ou pour deux ; on se réserve de poser ultérieurement la seconde voie, si la nécessité s'en fait sentir.

Nous avons vu précédemment (Livre I^er^, chapitre IV) que la voie courante d'un chemin de fer à une voie, posée dans des conditions de très grande solidité, coûte 45 000 francs par kilomètre, lorsqu'elle est posée en rails à double champignon, et 38 400 francs quand elle est posée en rails Vignole. Nous pouvons, pour une estimation sommaire se rapportant à des lignes à circulation moyenne, prendre le plus faible de ces deux chiffres, et admettre une dépense, en nombre rond, de 38 000 francs.

La dépense des stations varie nécessairement beaucoup avec leur importance. On peut admettre qu'une station du type le plus réduit coûte 50 000 à 60 000 francs environ, en y comprenant les voies accessoires. Sur une ligne à voie unique, ce chiffre doit être augmenté, puisqu'il faut ajouter aux installations propres de la station une voie d'évitement ayant à peu près 500 mètres de longueur; c'est un supplément de dépense de 18 000 à 19 000 francs. Nous placerons donc entre 70 000 et 80 000 francs le prix d'une petite station sur une ligne à voie unique.

Si nous admettons le chiffre de 75 000 francs et si nous remarquons que l'espacement moyen des stations est d'environ 8 à 9 kilomètres (chapitre IX), nous en déduirons une dépense par kilomètre de 9 000 francs environ, en supposant toutes les stations établies d'après le type le plus réduit, ci. . . . . 9 000 fr.

Mais il y a généralement une station sur trois qui appartient à la catégorie des stations de moyenne importance et qui donne lieu à une dépense trois fois plus grande; soit pour chacune d'elles une augmentation de dépense du double qui, répartie sur trois stations, conduit à un supplément des 2/3 du chiffre ci-dessus, soit . . . . . 6 000 fr.

Enfin les gares principales viennent encore augmenter dans une forte proportion la dépense kilométrique; mais leur part est très variable et bien difficile à évaluer. On peut admettre de ce chef un chiffre de . . . . . 7 000 fr.

Ce qui donne pour les stations (par kilomètre). . . . . 22 000 fr.

Dans les dépenses accessoires nous comprenons : les alimentations d'eau, dont le prix est d'environ 3 000 à 4 000 francs par kilomètre, les bornes kilométriques, les poteaux porte-rails pour les approvisionnements de l'entretien, les poteaux indicateurs de pentes et rampes, etc. C'est une dépense totale d'environ (par kilomètre) . . . . . 5 000 fr.

On a donc en résumé, l'estimation suivante :

1° Voie	38 000 fr.
2° Stations	22 000 —
3° Dépenses accessoires	5 000 —
Dépense totale par kilomètre.	65 000 fr.

Il est bon de remarquer que, dans la décomposition qui précède, le chapitre relatif à la voie ne comprend absolument que la voie courante, sans aucune addition pour les appareils de la voie; ceux-ci sont compris, ainsi que les voies accessoires, dans le chiffre relatif aux stations.

Nous terminerons le présent chapitre, ainsi que ce qui est relatif à la superstructure, comme nous avons terminé la deuxième partie de cet ouvrage, c'est-à-dire en donnant les chiffres de la dépense kilométrique de la superstructure de différentes lignes. Tous les chiffres du tableau ci-dessous sont empruntés à M. Sévène.

DÉPENSE KILOMÉTRIQUE DE LA SUPERSTRUCTURE DE DIVERS CHEMINS DE FER (VOIE UNIQUE)

DÉSIGNATION DES LIGNES	LONGUEUR	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE			OBSERVATIONS
		Bâtiments des stations et dépendances.	Établissement des voies, y compris les voies et appareils des stations.	Ensemble.	
	km.	fr.	fr.	fr.	
Compagnie d'Orléans (ancien réseau).					Les dépenses indiquées pour les lignes des Compagnies de l'Est et de l'Orléans résultent des écritures de ces Compagnies au 31 décembre 1874.
Poitiers à La Rochelle et à Rochefort	158	34 370	59 199	93 569	
Brétigny à Tours	202	25 340	58 361	83 701	
Savenay à Châteaulin	248	24 634	55 050	79 684	
Tours au Mans	94	14 638	55 738	70 376	
Auray à Pontivy	51	12 650	52 000	64 650	
Châteaulin à Landerneau	52	9 695	46 750	56 445	
Compagnie d'Orléans (nouveau réseau [1]).					[1] Les dépenses des gares communes ne sont pas comprises.
Coutras à Périgueux	75	30 573	71 975	102 548	Les gares d'extrémités augmentent dans une notable proportion le chiffre de la dépense kilométrique.
Tulle à Brives	26	49 616	50 807	100 423	
Montauban à Rodez	201	25 087	69 453	94 540	
Limoges à Agen	239	27 839	61 381	89 220	La double voie existe sur 98 kilomètres, mais la dépense n'est pas comptée ci-contre.
Toulouse à Lexos et Albi	105	28 155	56 000	84 155	
Périgueux au Lot	168	20 614	60 571	81 185	Double voie posée sur 17 kilomètres ; dépense non comptée ci-contre.
Nantes à La Roche-sur-Yon	75	21 759	55 600	77 359	
Orléans à Gien	61	19 298	51 853	71 151	
Penne à Villeneuve	9	24 578	49 556	71 134	
Arvant au Lot	171	19 393	51 421	70 814	
Montluçon à Limoges et Aubusson	147	18 267	52 516	70 783	
Angers à Niort	166	20 123	50 645	70 768	
Orléans à Malesherbes	58	16 225	51 603	67 828	
Commentry à Gannat	54	15 759	51 445	67 204	
Cahors à Libos	51	19 112	45 686	64 798	
Poitiers à Limoges	111	13 184	43 649	56 833	
Bourges à Montluçon	100	11 721	41 980	53 701	Double voie posée sur 6 kil. 500 mètres ; dépense non comptée ci-contre.
Tours à Vierzon	104	13 088	39 654	52 742	
Compagnie de l'Est [2].					[2] Y compris les dépenses des gares communes.
Blesme à Gray	180	28 251	94 388	122 639	Double voie posée sur 76 kil. 400 mètres ; dépense comptée ci-contre.
Vendenheim à Wissembourg	58	38 780	54 386	93 166	
Thann à Wesserling	13	23 386	57 958	81 344	
Troyes à Bar-sur-Seine	29	28 067	52 828	80 895	
Nancy à Gray	176	20 227	57 028	77 255	
Metz à Thionville et à la frontière	46	17 163	57 572	74 735	
Belfort à Guebwiller	20	19 469	50 237	69 706	
Reims à Metz	172	15 377	53 036	68 413	Double voie posée sur 28 kilomètres ; dépense comptée ci-contre.

DÉSIGNATION DES LIGNES	LONGUEUR	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE			OBSERVATIONS
		Bâtiments des stations et dépendances.	Établissement des voies, y compris les voies et appareils des stations.	Ensemble.	
Compagnie de l'Est (suite).	km.	fr.	fr.	fr.	
Dieuze à Avricourt	22	13 894	52 294	66 188	
Niederbronn à Thionville . . .	95	10 546	51 449	61 995	
Châtillon-sur-Seine à Chaumont	43	10 060	48 044	58 104	
Chaumont à Pagny-sur-Meuse.	95	11 704	44 752	56 453	
Mézières à Hirson.	55	14 231	40 463	54 694	
Lunéville à Saint-Dié.	50	11 293	35 978	47 271	
Châtillon-sur-Seine à Bar-sur-Seine	32	8 500	34 778	43 278	
Compagnie de Lyon.					
Chagny au Creusot et à Montceau-les-Mines	54	24 354	62 835	87 189	
Lons-le-Saunier à Mouchard . .	49	31 030	51 927	82 957	
Nuits-sous-Ravières à Châtillon-sur-Seine	36	23 625	53 832	77 457	
Bourg à Lons-le-Saunier. . . .	63	15 329	51 814	67 143	
Mouchard aux Verrières. . . .	73	17 492	46 858	64 350	
Arc-Senans à Franois.	27	14 180	39 931	54 111	
Compagnie de la Vendée [3].					[3] Dépense arrêtée au 31 décembre 1873.
Les Sables-d'Olonne à La Roche-sur-Yon	37	15 931	79 744	95 675	
La Roche-sur-Yon à Bressuire .	86	11 748	40 804	52 552	

Il est bon de remarquer, quand on compare les chiffres de ce tableau avec la moyenne de 65 000 francs que nous avons donnée plus haut, que, depuis le moment où les lignes dont il s'agit ont été construites, une baisse importante du prix de l'acier a amené une diminution très notable dans le prix de la voie et de ses accessoires, ce qui explique l'élévation de la plupart des chiffres du tableau par rapport à la moyenne de 65 000 francs.

QUATRIÈME PARTIE

MATÉRIEL ROULANT ET TRACTION

LIVRE PREMIER

MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Caractères distinctifs du matériel ordinaire des chemins de fer. — Position de la caisse au-dessus des roues ; application de mentonnets aux bandages ; parallélisme des essieux ; calage des roues sur les essieux ; conicité des bandages. — Raisons de ces différences. — Énumération des différentes parties des wagons.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DU MATÉRIEL ORDINAIRE DES CHEMINS DE FER. — Les principaux caractères qui distinguent le matériel roulant en usage sur les chemins de fer de celui qui circule sur les routes de terre sont les suivants :

1° Position de la caisse au-dessus des roues ;

2° Application de mentonnets aux bandages des roues ;

3° Parallélisme des essieux ;

4° Calage des roues sur les essieux ;

5° Conicité des bandages ;

Voici les raisons d'être de ces différences :

1° *Position de la caisse au-dessus des roues.* — Il y a un intérêt évident à placer la caisse des voitures au-dessus des roues, puisque de cette manière la largeur de cette caisse ne se trouve pas limitée par la longueur des essieux qui, sur les chemins de fer, est elle-même commandée par l'écartement de la voie. On peut dès lors donner à cette caisse une largeur bien supérieure à celle de la voie, ce qui permet au matériel des chemins de fer de répondre à

toutes les exigences du trafic avec la voie ordinaire de 1,50 m. Cette disposition n'a aucun inconvénient au point de vue de la stabilité, puisque les deux roues conjuguées d'un même essieu sont toujours de niveau, sauf en certains points qui présentent un faible surhaussement, à peu près compensé par la force centrifuge, et puisqu'en outre le chargement n'est jamais accumulé à la partie supérieure des voitures, comme dans les véhicules qui circulent sur les routes. Les voitures de chemins de fer ne sont donc pas exposées à verser comme celles des routes et il est naturel de profiter de cet avantage pour donner à la caisse de ces voitures des dimensions transversales plus considérables, tout en se tenant dans les limites qui résultent de l'espace laissé libre au passage des ouvrages d'art.

2° *Application de mentonnets aux bandages des roues.* — Les mentonnets sont les rebords saillants des bandages; ils sont indispensables pour maintenir les roues sur les rails. S'ils n'existaient pas, le moindre mouvement latéral imprimé aux véhicules aurait pour effet de les faire infailliblement dérailler ; la circulation du matériel serait absolument impossible.

3° *Parallélisme des essieux.* — Nous avons fait connaître que, dans le matériel ordinaire des chemins de fer, les essieux des wagons sont fixés au châssis dans des positions parallèles, ou à très peu près invariables, et nous avons vu que cette disposition a des conséquences très importantes au point de vue de la limitation du rayon des courbes dans le tracé des lignes. Il serait assurément très désirable de pouvoir abandonner cette disposition et d'avoir des essieux dont la position relative varierait suivant la courbure du tracé, de manière à converger toujours vers le centre de la courbe. Pour que cette convergence fût possible, il faudrait nécessairement qu'elle fût réglée par un mécanisme spécial, qui serait lui-même commandé par la courbure de la voie; or, cette condition n'a pas encore été réalisée d'une manière simple et pratique. Les essais assez nombreux de matériel articulé qui ont été faits n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants, et le parallélisme des essieux fixés au châssis reste la règle habituelle du matériel des chemins de fer. Cette règle s'applique même au matériel à bogie, qui tend de plus en plus à se substituer au matériel du type ancien, puisque dans ce cas les essieux d'un même bogie sont parallèles entre eux.

4° *Calage des roues sur les essieux.* — Les roues des véhicules de chemins de fer font corps avec leurs essieux et tournent avec eux, tandis que les roues des voitures ordinaires tournent autour des essieux. Cette solidarité établie entre les deux roues conjuguées par l'intermédiaire de l'essieu limite également, ainsi que nous l'avons vu, la facilité d'inscription en courbe du matériel roulant et il serait certainement désirable qu'on pût y renoncer. Il

n'y a pas à cela d'impossibilité absolue : on l'a fait dans le matériel articulé (système Arnoux), dont nous parlerons ultérieurement; on l'a fait également au chemin provisoire du mont Cenis, où les courbes avaient des rayons très petits. Mais cette modification s'est toujours faite au détriment de la solidité ; l'ensemble formé par deux roues indépendantes tournant autour d'un essieu est évidemment moins solide et plus sujet à dérangement qu'un essieu qui fait corps avec ses deux roues de manière à ne former, pour ainsi dire, qu'une seule pièce. En outre, aux grandes vitesses, l'indépendance des roues réagit d'une manière très défavorable sur l'allure des véhicules.

La solidarité des roues conjuguées est donc restée jusqu'à présent, comme le parallélisme des essieux, la règle ordinaire du matériel. Ces deux dispositions imposent pour les tracés de chemins de fer des conditions de courbure qui sont fort onéreuses, et un certain nombre d'ingénieurs pensent qu'on arrivera à s'en affranchir, au moins de la solidarité des roues. Les essais qu'on a tentés dans ce but ne permettent pas encore de prévoir si ce résultat sera prochainement atteint.

5° *Conicité des bandages.* — Nous rappelons enfin que les bandages des roues ont une forme conique, au lieu d'être cylindriques comme ceux des voitures ordinaires. Nous avons déjà expliqué (*Superstructure*) la raison de cette disposition et l'importance qu'elle présente au point de vue de la régularité du mouvement des véhicules. Nous n'avons donc pas à y revenir.

ENUMÉRATION DES DIFFÉRENTES PARTIES DES WAGONS. — Quelle que soit le système dans lequel il est construit, quelle que soit sa destination, un véhicule de chemin de fer est essentiellement formé d'une *caisse*, portée par un *train*.

La forme de la caisse varie suivant qu'il s'agit d'une voiture à voyageurs, d'un fourgon, d'un wagon à marchandises; quant au train, il se compose d'un *châssis* rectangulaire, sur lequel est boulonnée la caisse, et de divers organes destinés à permettre le mouvement du véhicule et sa liaison avec ceux qui le précèdent et qui le suivent.

A cet effet, le châssis repose sur des *essieux* par l'intermédiaire de *coussinets de friction*, enchâssés dans des *boîtes à graissage*, qui enveloppent la partie de l'essieu sur laquelle est appliquée la charge et qu'on appelle la *fusée*. Pour amortir les chocs qui peuvent résulter des inégalités de la voie, la boîte à graissage n'est pas fixée directement au châssis ; elle lui est reliée par l'intermédiaire d'un *ressort de suspension*. Enfin les essieux et les roues qui en dépendent sont maintenus dans leur position sous la caisse par des fourches en fer qui embrassent les boîtes à graissage et sont fixées invariablement aux faces longitudinales du châssis; ces fourches, nommées *plaques*

de garde, peuvent descendre et monter le long des boîtes à graissage, en suivant les inflexions des ressorts. Quant à la liaison des véhicules entre eux,

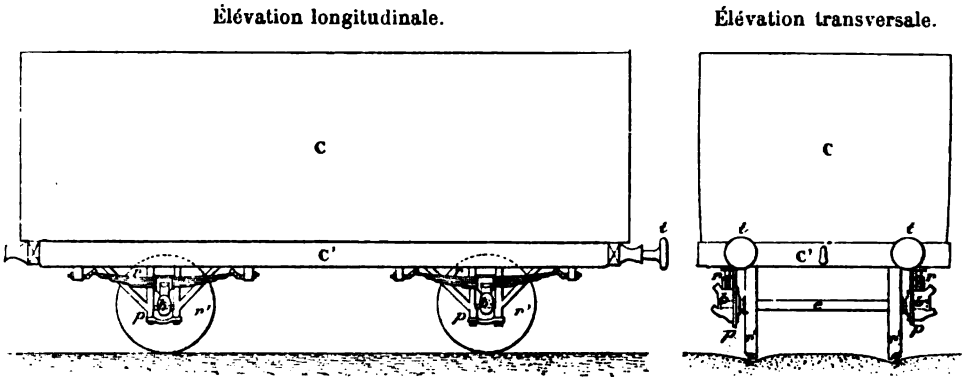


Fig. 434. — Wagon.

C. caisse. — C', châssis. — *b*. boîte à graissage. — *e*. essieu. — *p*. plaque de garde. — *r*. ressort. — *r'*. roue. *t*. tampon.

elle est réalisée au moyen des *appareils d'attelage*, qui comportent des tampons, des barres d'attelage et de choc, et des ressorts.

La figure 434, qui représente l'élévation longitudinale et transversale d'un wagon du type courant, rend compte de la disposition de ces différents éléments.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES PARTIES DES WAGONS

§ 1er. — Châssis. — Châssis en bois, châssis mixtes en bois et fer, châssis en fer. — Éléments principaux des différents types de châssis employés sur les chemins de fer français.

§ 2. Essieux. — Dimensions des essieux. — Dispositions adoptées sur les chemins de fer allemands en ce qui concerne les dimensions des essieux (Arrêté ministériel du 5 janvier 1886). — Dimensions principales et poids des essieux employés sur les chemins de fer français. — Types d'essieux français et anglais. — Nature du métal employé ; essieux en acier. — Fabrication et épreuves des essieux. — Ruptures d'essieux ; moyens employés pour les éviter. — Avis de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Essieu-type des chemins de fer américains, pour voitures, wagons et tenders.

§ 3. — Suspension. — Profil parabolique des ressorts. — Dimensions et flexibilité des ressorts. — Menottes. — Double suspension. Voitures de M. Reifert. — Conclusions du Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887).

§ 4. — Boîtes à graissage. — Graissage à la graisse et à l'huile. — Opinion du Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887). — Boîtes à galets.

§ 5. — Plaques de garde. — Importance d'un jeu de quelques millimètres entre les plaques de garde et les boîtes à graissage.

§ 6. — Roues. — Roues à rais. Roues à moyeu en fonte et rais en fer. Roues Arbel. — Roues pleines. Roues en fonte, en fer laminé, en acier fondu, en bois, en papier comprimé. — Bandages. — Types des grands réseaux français. — Embattage et mode d'attache des bandages. — Nature du métal employé. — Montage des roues. — Dimensions principales des roues des chemins de fer français. — Roues équilibrées. Opinion du Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887).

§ 7. — Appareils d'attelage. — Appareils de traction et de choc. Manille d'attelage. Tendeur à vis. Chaînes de sûreté. — Dispositions employées sur les chemins de fer français. — Attelages de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Attelages américains ; position centrale des tampons. — Attelages automatiques.

Le matériel de transport se divise en deux grandes classes, savoir : le matériel à voyageurs et le matériel à marchandises.

Nous décrirons successivement chacun des éléments de ce matériel, en commençant par ceux qui diffèrent peu dans les deux classes, savoir : le châssis, les essieux, la suspension, les boîtes à graissage, les plaques de garde, les roues et les appareils d'attelage. Nous nous occuperons ensuite de la caisse et des différents types de matériel employés.

§ 1er. — CHASSIS

Le châssis est un cadre rectangulaire sur lequel est boulonnée la caisse de la voiture.

Il se compose essentiellement de deux pièces longitudinales ou *longerons*, réunies à leurs extrémités par deux *traverses ;* le tout est relié et consolidé par des traverses intermédiaires et par une croix de Saint-André, comme le montre la figure 435, qui représente le plan d'une voiture de la compagnie de l'Ouest.

La croix de Saint-André est plate et posée de manière à araser le plan

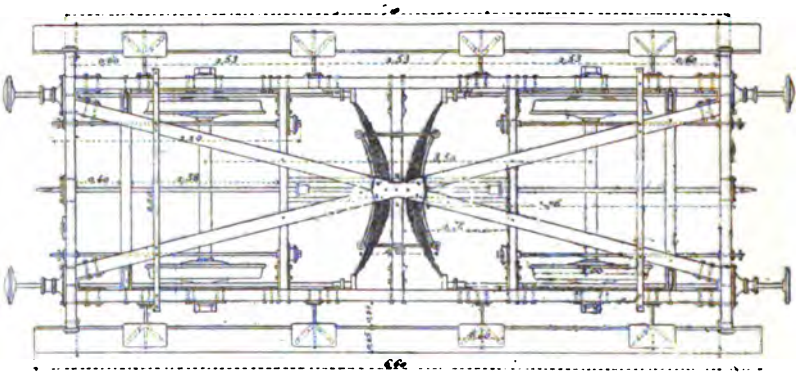


Fig. 435. — Voiture de 2e classe de la compagnie de l'Ouest. — Plan du châssis. (Echelle de 0,015 m. par mètre).

supérieur du châssis et à former avec lui les points d'appui nécessaires au plancher de la caisse.

Pendant fort longtemps, les châssis se sont faits exclusivement en bois ; mais, en raison des efforts considérables auxquels ils ont à résister et des dimensions toujours croissantes qu'on est obligé de leur donner, par suite de l'augmentation de la longueur et du poids des véhicules, on a, depuis un certain nombre d'années, substitué le métal au bois, soit pour certaines pièces du châssis, soit pour le châssis entier. Il existe actuellement des châssis entièrement en bois, des châssis mixtes en bois et fer et des châssis entièrement en fer ou en acier.

On reproche aux châssis en bois, indépendamment de leur prix élevé, la facilité avec laquelle ils prennent feu, quand leurs pièces demeurent pendant longtemps en contact avec les escarbilles tombées du foyer de la machine et lancées par les rais des roues.

Il y a là une chance d'incendie qui n'est nullement négligeable et qui devrait suffire à faire préférer les châssis métalliques.

Certaines compagnies ont cependant longtemps conservé les châssis en

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS PRINCIPAUX	VO				
	P.-L.-M.	EST	MI	OUEST	NORD
Types des véhicules.	1re classe à coupé-lit et à fauteuils-lits.	1re classe à compartiments.	1re classe à cabinet de toilette et W.-C.	Wagons couverts à volets modèle 1876).	Wagons couverts à portes roulantes.
Types des châssis (bois, fer ou mixte).	Fer.	Fer.	Fer.	Mixte.	Bois.
Section des pièces du châssis. — Longerons. . . .	[250×80×10	I 220×100×10	[250×80×10	Acier I 100×90×9	250×120
Traverses extrêmes.	[250×80×10	[220× 70×10	[250×80×10	265×100	250×120
Traverses intermédiaires. . .	[175×60× 8	[140× 50×12	[135×60× 7	250× 90	250×120
Croix de Saint-André.	L 95×60× 9	»	L 95×60× 8	r 70× 10	130× 65
Nombre de traverses intermédiaires . . .	4	3	5	4	2
Longueur totale (entre les traverses de tête).	7,500 m.	7,000 m.	7,520 m.	6,100 m.	4,800 m.
Écartement intérieur des longerons. . . .	1,810	1,800	1,807	1,830	1,767
Nombre de paires de roues	3	2	2	2	2
Écartement des essieux extrêmes.	4,100 m.	4,500 m.	4,500 m.	3,200 m.	2,650 m.
Poids du châssis (sans les roues, les boîtes et les ressorts de suspension)	2,830 kg.	2,600 kg.	2,480 kg.	2,030 kg.	»

bois. La compagnie d'Orléans, par exemple, employait autrefois le bois de chêne pour toute la charpente du châssis de son matériel à grande vitesse; elle se contentait d'armer les longerons du côté extérieur au moyen d'une tôle de 8 millimètres d'épaisseur. Elle expliquait cette préférence en disant que le bois amortit les vibrations de la marche, qu'un châssis tout en fer transmettrait plus complètement; mais la réalité de cette observation était contestée par beaucoup d'ingénieurs et l'expérience de la compagnie P.-L.-M., qui emploie depuis fort longtemps les châssis entièrement métalliques dans ses trains express, paraît démontrer qu'il n'y a pas la moindre différence d'allure entre ses voitures et celles qui sont montées sur des longerons en bois.

L'hésitation qu'on a apportée tout d'abord dans l'emploi du métal pour la construction des châssis provient surtout de ce que, dans les châssis mixtes, la présence de longerons seuls en fer augmentait le poids total de l'appareil; mais, avec une étude convenable du châssis tout en métal, on peut obtenir des poids identiques à ceux des châssis en bois.

En somme, le fer et surtout l'acier, qu'on lui substitue de plus en plus, a l'incontestable avantage de résister beaucoup mieux que le bois aux efforts de toute nature que le châssis doit supporter; il a une plus grande durée et il diminue beaucoup les chances d'incendie. De fait, dans les nouvelles voitures, les châssis se font maintenant entièrement en acier.

L'emploi du métal ne change pas, d'une manière notable, la forme générale de cet élément des wagons; pourtant, dans certains châssis de la compagnie de l'Est, qui sont entièrement métalliques, la croix de Saint-André est supprimée et remplacée par un système de pièces rectangulaires assemblées par de larges goussets en fer qui s'opposent à toute désarticulation du châssis.

La section transversale des fers employés est en forme de I ou de ⊐ ; des cornières forment généralement les croix de Saint-André.

Les anciens châssis en bois pour voitures de 6,50 m. de longueur pesaient environ 2000 kilogrammes; les nouveaux châssis en métal de 7 à 9 mètres pèsent 2 590 à 3 000 kilogrammes.

M. J.-B. Personne a publié en 1880[1] un tableau des dimensions principales et des poids des différents types de châssis alors employés sur les chemins de fer français.

Nous reproduisons ci-après ce tableau, qui donne en même temps des renseignements intéressants sur le nombre et l'écartement des essieux des voitures à voyageurs et des wagons à marchandises, qui constituaient le matériel courant à cette époque. Nous verrons plus loin les modifications qui y ont été apportées, notamment en ce qui concerne la longueur des véhicules et l'écartement des essieux.

[1] Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer. *Revue générale des Chemins de fer*, août 1880.

§ 2. — ESSIEUX

Les essieux sont destinés à transmettre aux roues la pression du véhicule; ils reçoivent eux-mêmes cette pression sur leur *fusée*, c'est-à-dire sur la partie qui est située à l'extérieur des roues; la partie de l'essieu sur laquelle les roues sont calées s'appelle la *portée de calage;* enfin, celle qui se trouve à l'intérieur de la voie est le *corps de l'essieu.*

Dimensions des essieux. — Les dimensions des différentes parties d'un essieu résultent des efforts auxquels chacune de ces parties est appelée à résister. Voici comment on peut se rendre compte de l'intensité de ces efforts.

1° L'essieu doit d'abord résister au poids du wagon, qui lui est transmis sur la fusée. Soit P la partie de ce poids supportée par la fusée (fig. 436).

La roue exerce une réaction égale et contraire, — P. La première de ces deux forces est appliquée au milieu du coussinet, la seconde au milieu de la portée de calage.

Si d désigne la distance de ces deux points, chaque moitié d'essieu est soumise à un couple, dont le moment est Pd.

Ces couples représentent les efforts auxquels l'essieu doit résister à l'état de repos.

En marche, d'autres efforts se produisent :

2° D'abord un effort de torsion, résultant de la solidarité des roues. Le maximum de cet effort a lieu si l'on suppose que l'une des roues glisse par suite de sa liaison avec sa conjuguée, par exemple lorsque cette dernière se trouve calée par un frein agissant sur elle seule. Dans ce cas, le moment de torsion est celui du frottement, soit fPh, en appelant f le coefficient du frottement et h le rayon de la roue au roulement.

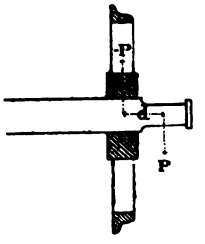


Fig. 436.

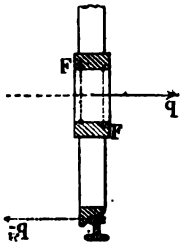


Fig. 437.

3° L'essieu doit résister encore à des efforts de flexion dus aux réactions horizontales des rails sur les mentonnets.

Supposons que la force centrifuge ou une cause accidentelle quelconque pousse la roue vers l'extérieur de la voie et soit q cette force horizontale (fig. 437). Le rail exerce sur la roue une réaction égale et contraire, — q, et le couple $(q, -q)$ qui agit sur la roue se transmet à l'essieu, par l'intermédiaire du moyeu, en produisant un couple équivalent qui tend à faire fléchir l'essieu[1]. La partie supérieure du moyeu exerce sur la portée du calage une

[1] Sévène. *Cours de Chemins de fer.*

pression qui décroît de droite à gauche et dont la résultante F est située à droite de l'axe ; de même la partie inférieure du moyeu exerce une pression, — F, placée symétriquement, et c'est ce couple (F, — F) qui doit être équivalent au couple $(q, -q)$.

Il est fort difficile de se rendre compte de l'intensité de ces efforts, qui varient considérablement suivant l'état de la voie. En alignement droit et sur une voie en très bon état, la force q peut être très faible ; si la voie est mauvaise et si la vitesse est grande, elle peut atteindre une valeur énorme. En courbe, elle a toujours une intensité notable, car la force centrifuge n'est jamais exactement compensée par le surhaussement ; la tendance de la voie à s'élargir dans les courbes est une preuve manifeste de l'existence de cette force.

En tout cas, si l'on suppose que la répartition des pressions exercées par la wagon sur la portée de calage se fasse suivant une progression arithmétique partant de zéro à une extrémité du moyeu et croissant jusqu'à l'autre extrémité, le bras de levier du couple (F, — F) sera égal au tiers de la largeur C du moyeu et on aura, en vertu de l'équivalence exprimée plus haut :

$$\frac{1}{3}\,CF = qr,$$

d'où l'on tire

$$F = \frac{3qr}{C}.$$

Tels sont les trois efforts auxquels un essieu doit résister : le premier dépend uniquement du poids du véhicule et reste constant pendant la marche, tant que le chargement du wagon ne change pas ; les deux autres varient suivant le tracé et d'après l'état de la voie. Les deux premiers sont seuls susceptibles d'une évaluation exacte ; le troisième varie dans des proportions telles qu'il est à peu près impossible de lui assigner des limites.

De ces trois efforts, la fusée n'a à supporter que le premier, et elle y résiste comme une pièce encastrée à une extrémité et libre à l'autre. Le corps de l'essieu et la portée de calage, au contraire, sont soumis aux trois efforts et supportent les mêmes moments de torsion et de flexion.

Il résulte de ce qui précède que la fusée doit avoir un diamètre plus petit que les autres parties de l'essieu et que ces dernières, les portées de calage et le corps, devraient avoir le même diamètre, plus grand que celui de la fusée.

Mais il faut tenir compte en outre de ce que la portée de calage supporte en plus une très forte pression provenant du calage de la roue sur l'essieu, d'où résulte un effort de cisaillement très considérable. Pour cette raison, on a l'habitude de donner à la portée une surépaisseur par rapport au corps de l'essieu. A la suite de la portée de calage on place un cordon de sûreté, que

l'on raccorde par un congé avec le corps de l'essieu, formé de deux troncs de cône réunis au milieu par un cylindre.

La figure 438 représente, comme spécimen de ces dispositions, un essieu de wagon de la compagnie d'Orléans (21e série). Les dimensions des essieux

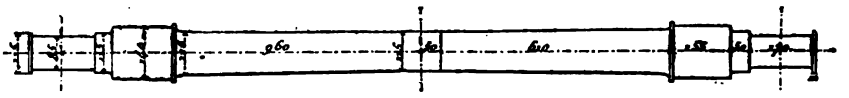


Fig. 438. — Profil d'un essieu de wagon de la compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{20}\right)$.

actuellement employés par cette compagnie sont un peu plus fortes que celles de la figure 438, comme nous le verrons tout à l'heure ; mais la forme générale est la même.

Les variations dans les diamètres des différentes parties de l'essieu comprises entre les deux fusées ne sont pas sans inconvénients ; elles compliquent le profil et elles peuvent conduire, quelque bien faits que soient les raccordements, à des inégalités de résistance et à un défaut d'homogénéité du métal. Les ingénieurs allemands, autrichiens et hongrois ont renoncé depuis un certain nombre d'années à ces changements de diamètre dans les essieux, et ils paraissent s'en trouver bien. Nous citerons, comme exemple de cette tendance, l'essieu hongrois qui est cylindrique sur toute la longueur comprise entre les fusées, sauf les portées de calage qui ont une légère conicité de 0,001 m. sur 0,30 m. de longueur, afin de remplacer les cordons d'arrêt et le calage cylindrique[1].

Les dispositions des essieux du matériel des chemins de fer allemands ont été réglées par un arrêté ministériel du 5 janvier 1886, dont les prescriptions sont indiquées ci-dessous[2] :

DIAMÈTRE MINIMUM de la portée de calage.	FUSÉES		CHARGE BRUTE maxima autorisée par essieu.
	Diamètre minimum.	Diamètre maximum.	
mm.	mm.	mm.	kg.
100	62	150	4 300
105	66	156	5 000
110	70	162	5 800
115	74	166	6 600
120	78	170	7 500
125	82	174	8 500
130	86	178	9 600
135	90	182	10 700
140	94	185	12 000
145	98	188	13 200

1° Les chiffres du tableau ci-dessus donnent la relation qui devra exister entre le diamètre des fusées et la charge brute maxima à autoriser pour les essieux en bon acier

[1] Goschler. *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, t. III.

[2] *Revue générale des Chemins de fer*, septembre 1886.

fondu des wagons à marchandises et des tenders, lorsque l'écartement des milieux des fusées ne dépasse pas 2 mètres.

2° Les charges brutes devront être réduites de 16 p. 100 lorsqu'on emploiera du fer corroyé.

3° Lorsque les fusées auront une plus grande largeur, il faudra augmenter convenablement leur diamètre.

4° Les essieux des voitures à voyageurs, des fourgons de la poste et des bagages devront avoir, à la portée de calage, un diamètre de 115 millimètres au moins ; la charge brute maxima à faire supporter à ces essieux devra être inférieure de 20 p. 100 à celle qui est indiquée au § 1er ci-dessus.

5° Les essieux des wagons et des tenders ne devront avoir aucun angle vif aux portées de calage ; en général, on devra éviter tout angle vif aux essieux et aux fusées.

Voici d'autre part, d'après les documents recueillis par M. J.-B. Personne en 1883[1], les dimensions principales et les poids des essieux employés à cette époque sur les chemins de fer français :

DÉSIGNATION DES LIGNES et des types d'essieux.	FUSÉE		DIAMÈTRE			NATURE du métal.	POIDS de l'essieu.
	Diamètre.	Longueur.	De la portée de calage.	Près de la portée de calage.	Au milieu du corps.		
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.		kg.
Nord.							
Wagons, voitures et fourgons.	85	170	130	128	120	Fer et acier.	180
Voitures de 1re classe à quatre compartiments .	100	200	150	135	125	Fer.	220
Est.							
Voitures et wagons ordinaires.	90	180	140	135	120	Fer.	210
Voitures de 1re classe à lits, wagons de 12 tonnes.	105	200	155	150	135	Fer.	252
Ouest.							
Wagons (16 tonnes maximum en charge), voitures et fourgons. . . .	80	160	130	125	115	Fer ou acier	175
Wagons (16 tonnes minimum en charge), voitures de 1re classe à 2 coupés et à 4 compartiments.	100	180	150	145	130	L'acier est très employé depuis quelques années.	235
P.-L.-M.							
Voitures et wagons ordinaires.	85	170	150	136	115	Fer.	178
Voitures-salons et fourgons à 4 roues.	100	200	169	153	130	Fer.	250
Wagons spéciaux à charpentes et à maringottes (8 roues).	110	220	185	168	142	Fer.	270
Voitures-salons, coupés-lits et à 4 compartiments.	100	220	169	153	130	Fer.	265

[1] Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer. *Revue générale*, janvier 1883.

DÉSIGNATION DES LIGNES et des types d'essieux.	FUSÉE		DIAMÈTRE			NATURE du métal.	POIDS de l'essieu.
	Diamètre.	Longueur.	De la portée de calage.	Près de la portée de calage.	Au milieu du corps.		
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.		kg.
Orléans.							
Wagons et voitures ordinaires.	85	170	140	130	120	Fer.	195
Voitures de 1re classe à 4 compartiments et à lits-toilette.	100	200	150	135	125	Fer.	220 250
Fourgons à grande vitesse	110	230	160	145	135	Fer.	255
Midi.							
Wagons et voitures ordinaires.	85	170	130	120	120	Fer.	180
Voitures des trains rapides et voitures de 1re classe	110	220	150	130	130	Fer.	233
État.							
Voitures, wagons et fourgons.	90	180	140	42	118	Fer.	208

Nous donnons également (fig. 439 à 447) les dessins de quelques types d'essieux employés par les grandes compagnies françaises.

TYPES PRINCIPAUX D'ESSIEUX FRANÇAIS

(Echelle $\frac{1}{20}$).

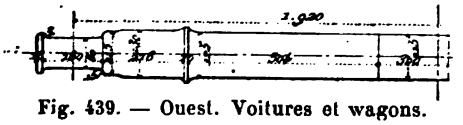


Fig. 439. — Ouest. Voitures et wagons.

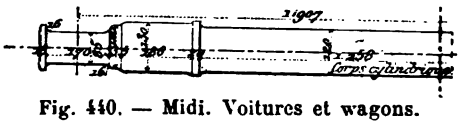


Fig. 440. — Midi. Voitures et wagons.

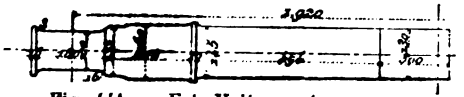


Fig. 441. — Est. Voitures et wagons.

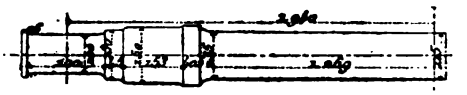


Fig. 442. — Ouest. 1re classe à quatre compartiments, coupés et wagons à 10 tonnes.

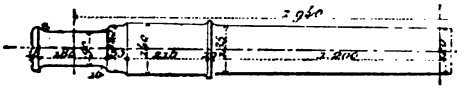


Fig. 443. — Nord. 1re classe à quatre compartiments.

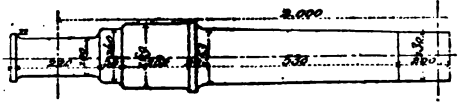


Fig. 444. — P.-L.-M. Grandes voitures.

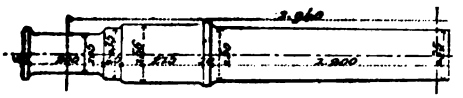


Fig. 445. — Est. Voitures à coupés et wagons à 12 tonnes.

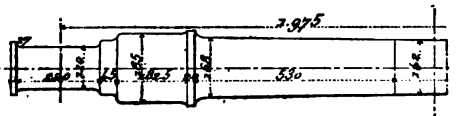


Fig. 446. — P.-L.-M. Voitures et wagons.

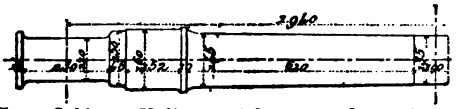


Fig. 447. — Orléans. Voitures et fourgons des trains rapides.

On voit que, sauf à la compagnie du Midi (fig. 440), où le corps de l'essieu est entièrement cylindrique, il est généralement formé de deux troncs de cône raccordés par une partie cylindrique (compagnies de l'Ouest, de P.-L.-M., d'Orléans) ou simplement réunis au milieu du corps de l'essieu par leur plus petit diamètre (compagnies de l'Est et du Nord).

Enfin nous représentons (fig. 448 à 454) les types d'essieux employés par quelques compagnies de chemins de fer anglais, d'après des documents émanant de ces compagnies et recueillis par M. E. Lecocq [1]. La forme générale de ces essieux se rapproche beaucoup de celle des essieux français ; leurs épaisseurs sont en général plus faibles.

CHEMINS DE FER ANGLAIS. — TYPES D'ESSIEUX

(Echelle $\frac{1}{20}$)

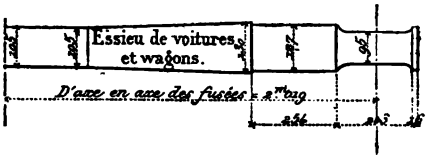


Fig. 448. — Great Eastern Railway.

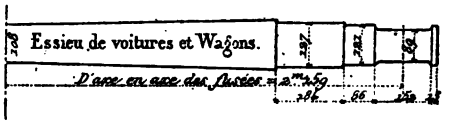


Fig. 451. — Great Southern and Western Railway.

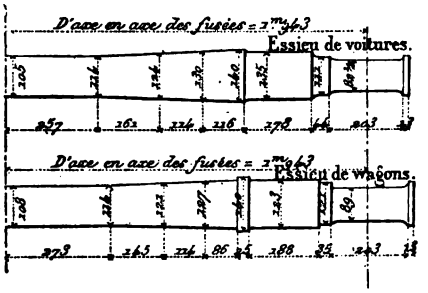


Fig. 449. — Great Northern Railway.

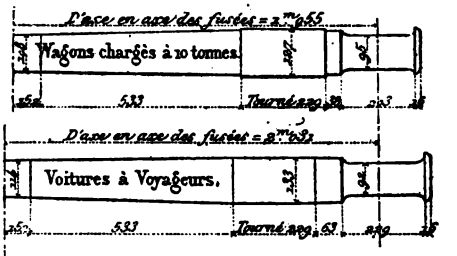


Fig. 452. — London Chatam and Dover Railway.

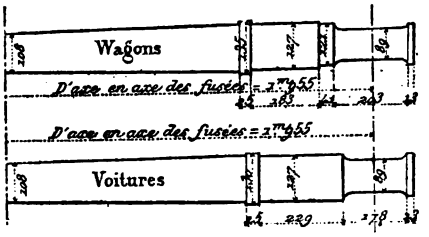


Fig. 450. — Great Western Railway.

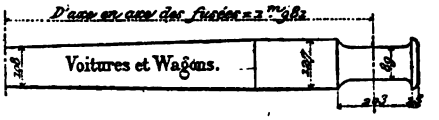


Fig. 453. — Midland Railway.

Fig. 454. — South Eastern Railway.

NATURE DU MÉTAL EMPLOYÉ. — Les essieux se font en fer ou en acier. Pendant longtemps on les a faits exclusivement en fer, en exigeant des usines un métal de première qualité. Mais, à mesure que les procédés de fabrica-

[1] Notes sur les conditions principales de fabrication, d'essais, etc., des essieux et bandages en Angleterre. *Revue générale*, mai 1881.

tion de l'acier se sont perfectionnés, on a été amené à substituer ce métal au fer, afin de profiter du surcroît de résistance que procure son emploi.

Nous avons vu que, sur les chemins de fer allemands, on admet pour les essieux en acier fondu une surcharge de 16 p. 100 par rapport aux essieux en fer. En outre, on recommande d'éviter le raccordement à vives arêtes entre les portées de calage et les parties brutes du corps de l'essieu.

L'acier fondu, en effet, pour résister convenablement aux efforts qu'on lui impose, doit avoir des formes simples avec des transitions ménageant le plus possible les changements de diamètre et des congés amortissant les angles.

Les essieux en acier fondu sont très répandus en Allemagne et en Autriche ; sur quelques chemins autrichiens on paraît préférer les aciers Bessemer ou Martin.

En Angleterre, quelques compagnies continuent à employer exclusivement le fer des meilleures qualités du Yorkshire ; mais la grande majorité des administrations de chemins de fer ont adopté pour leurs essieux l'acier fondu obtenu, soit au creuset, soit par les procédés Bessemer ou Siémens-Martin [1].

En France, la plupart des compagnies ont longtemps préféré pour leurs essieux le fer de bonne qualité. On trouvait, il y a une quinzaine d'années, quelques essieux en acier en service sur le réseau du Nord et, à cette même époque, la compagnie de l'Ouest employait en grande quantité les essieux en acier doux pour son matériel.

Mais, depuis, l'emploi de l'acier s'est beaucoup développé et il n'est pas douteux qu'avec l'amélioration toujours croissante des procédés métallurgiques l'acier n'arrive à remplacer complètement le fer dans la confection des essieux.

Fabrication et épreuves des essieux. — Quel que soit le métal employé, il faut dans tous les cas qu'il soit de première qualité. Dans ce but, les divers réseaux imposent aux usines certaines conditions de fabrication et de réception stipulées par leurs cahiers des charges.

L'épreuve courante consiste à soumettre l'essieu au choc d'un mouton d'un poids fixé à l'avance et tombant d'une hauteur déterminée ; l'essieu doit, après un certain nombre de coups de mouton, prendre une certaine flèche sans se rompre et reprendre ensuite sa forme normale sans que le métal ait subi aucune altération.

Quelques compagnies, notamment celles de l'Ouest et de l'Orléans, imposent en outre des épreuves de choc aux fusées.

Nous reproduisons ci-dessous un extrait, en ce qui concerne les essieux, du cahier des charges pour la fourniture des roues montées de la compagnie de l'Ouest [2].

[1] *Revue générale*, mai 1881. E. Lecocq. Article cité.
Ibid., janvier 1883. J.-B. Personne. Article cité.

ART. 4. . . . .

ESSIEUX. — *Épreuves au corps.* — Un essieu sur quarante, désigné par l'agent de la compagnie, sera placé sur deux appuis espacés de 1,50 m., puis soumis au choc d'un mouton guidé pesant 400 kilogrammes et tombant d'une hauteur de 4,50 m.; cet essieu devra prendre une flèche de 0,25 m. mesurée sur la corde réunissant les deux points d'appui; l'essieu retourné en sens inverse et soumis à des chocs de la même importance, devra pouvoir être redressé sans laisser paraître aucune crique ou gerçure.

« Le pli des essieux en fer ne devra pas être effectué en moins de quatre coups de mouton et celui des essieux en acier en plus de six coups de mouton.

« *Épreuves aux fusées.* — Les fusées ayant été tournées, l'essieu placé horizontalement sera encastré à l'une de ses extrémités par la portée de calage dans un bloc de fonte disposé à cet effet et pesant 1 000 kilogrammes au moins, l'autre portée de calage reposant sur une enclume.

« Dans ces conditions, les fusées seront soumises aux chocs d'un mouton guidé du poids de 400 kilogrammes tombant d'une hauteur de 0,50 m., jusqu'à ce qu'elles aient pris une inclinaison de 0,16 m.

« L'essieu retourné en sens inverse, les fusées, soumises à des chocs de même importanée, devront pouvoir être redressées sans se rompre ni se criquer.

« Si l'essieu essayé ne répond pas à ces conditions, le lot complet sera refusé; si l'essai est satisfaisant, un deuxième essieu sera essayé dans les mêmes conditions, et le lot ne sera admis que si les deux essieux ont satisfait aux conditions d'épreuves. »

Des conditions analogues sont imposées pour le corps de l'essieu par toutes les compagnies françaises et étrangères; il n'y a de différences qu'en ce qui concerne le poids du mouton, la hauteur d'où il doit tomber et l'écartement des supports. Ces éléments varient nécessairement avec les dimensions des essieux.

RUPTURES D'ESSIEUX. — Les ruptures d'essieux sont une des plaies de l'exploitation des chemins de fer; assez rares dans les essieux des voitures à voyageurs, elles se produisent plus fréquemment dans ceux de wagons à marchandises. Elles sont, la plupart du temps, sans danger, parce que le wagon désemparé se trouve maintenu par les attelages qui le relient aux véhicules voisins; mais elles peuvent, dans certains cas, amener un déraillement et occasionner de très grands malheurs. On doit donc prendre toutes les précautions possibles pour les prévenir.

Elles sont rares dans le matériel à voyageurs, parce que les essieux y sont moins fatigués que dans les wagons de marchandises; mais, comme ces derniers doivent pouvoir prendre place dans les trains mixtes, la rupture d'un essieu à marchandises peut avoir des conséquences funestes pour les voyageurs qui se trouvent dans ces trains. Il est donc nécessaire d'empêcher cet accident de se produire dans tous les véhicules qui circulent sur les chemins de fer.

Dans ce but, l'ordonnance réglementaire de 1846 avait prescrit la tenue

de registres d'essieux, destinés à constater leurs parcours. L'article 9, § 2 de cette ordonnance s'exprime ainsi :

« Il sera tenu, pour les essieux de locomotives, tenders et voitures de toute espèce, des registres spéciaux sur lesquels, à côté du numéro d'ordre de chaque essieu, seront inscrits sa provenance, la date de sa mise en service, l'épreuve qu'il peut avoir subie, son travail, ses accidents et ses réparations ; à cet effet, le numéro d'ordre sera poinçonné sur chaque essieu. »

Mais cette mesure n'a pas tardé à devenir inexécutable, par suite de l'accroissement du réseau français et du nombre toujours croissant des essieux de voitures et wagons circulant sur ce réseau [1]. La prescription dont il s'agit est donc tombée en désuétude, sauf pour les essieux de machines.

Toutefois, dans une circulaire du 25 août 1856, le ministre a rappelé aux compagnies la nécessité de tenir régulièrement les registres d'essieux pour les locomotives, tenders et *voitures à voyageurs*, et d'y consigner exactement les circonstances qui se produisent pendant le service de chacun de ces essieux.

Enfin le décret du 1er mars 1901, qui a modifié l'ordonnance de 1846, a limité aux essieux de locomotives et tenders la tenue des registres spéciaux avec tous les détails précédemment exigés. Mais les essieux des véhicules de toute espèce doivent porter une marque au poinçon faisant connaître leur provenance et la date de la fourniture.

Les ruptures d'essieux peuvent être dues à des causes diverses, parmi lesquelles nous citerons : un excès d'usure des fusées, un vice dans la forme de l'essieu, notamment par suite de la présence de congés trop aigus, la mauvaise qualité du métal, un excès de charge par rapport à l'équarrissage, etc. On remédie facilement à ces causes de ruine des essieux en les visitant minutieusement dans toutes leurs parties apparentes et en allouant des primes aux visiteurs du matériel pour les intéresser à signaler tout indice de rupture, dès qu'il se présente, en étudiant la forme des pièces de manière à éviter les angles brusques, en exigeant des fournisseurs un métal de choix et en imposant aux essieux des épreuves destinées à donner des garanties de solidité, enfin, en augmentant les diamètres des différentes parties de ces pièces, de manière à diminuer la fatigue qu'elles ont à supporter. Les renseignements que nous avons donnés au sujet des divers types d'essieux employé montrent, à ce dernier point de vue, une tendance très accentuée à se servir de gros essieux et de grosses fusées, ce qui doit contribuer à rendre les ruptures moins fréquentes.

Malheureusement il arrive, la plupart du temps, que les fissures qui se

[1] Le nombre des essieux de cette espèce dépassait déjà 120 000 en 1856. Il était de plus 530 000 en 1885.

produisent dans les essieux et qui sont le prélude d'une rupture prochaine ont lieu à la portée de calage, et qu'il est impossible d'en reconnaître l'existence, puisque cette partie de l'essieu se trouve cachée par le moyeu de la roue. C'est une situation très fâcheuse, qui résulte du surcroît de fatigne imposé à cet endroit, par suite de la pression considérable exercée par le calage de la roue, et qui empêche qu'on puisse se mettre, d'une manière absolument certaine, à l'abri des ruptures d'essieux.

Il n'y a guère qu'un moyen, indépendamment des procédés préventifs que nous avons indiqués plus haut, et ce moyen consiste précisément dans la tenue du registre prescrit par l'ordonnance de 1846, en le simplifiant autant qu'il est nécessaire. On inscrit sur ce registre les différents types d'essieux, en les rangeant par séries contemporaines et on suit la façon dont se comporte chaque série; au bout d'un certain parcours, 300 000 kilomètres par exemple, on démonte tous les essieux d'une série, on les examine minutieusement dans toutes leurs parties et on les fait ensuite passer au feu, ce qui a pour effet inévitable de provoquer une rupture, pour peu qu'il y ait un commencement de fissure ou de désagrégation intérieure. Lorsqu'une série d'essieux donne lieu à une ou plusieurs ruptures, elle doit être considérée comme suspecte et tous les essieux qui la composent doivent, quel qu'ait été leur parcours, être démontés, visités et soumis à de nouvelles épreuves. Quand les ruptures deviennent encore plus fréquentes dans une série, il n'y a qu'un parti à prendre : retirer tous les essieux du service de l'exploitation et les utiliser si on le peut, en dehors de ce service, sur des wagons à ballast, par exemple.

L'Union (Verein) des chemins de fer allemands, qui a réuni sur les ruptures d'essieux un grand nombre de renseignements, a émis l'avis suivant dans sa réunion de Stuttgard (18, 19 et 20 juin 1878) [1] :

« Pour reconnaître les commencements de rupture des fusées, on recommande, en outre d'un examen minutieux à la loupe, de frapper dans le sens de l'axe l'extrémité de la fusée de deux coups de marteaux, l'un de haut en bas, et l'autre de bas en haut, après avoir préalablement bien nettoyé celle-ci ; s'il y a un commencement de rupture, l'huile en sortira et le révélera.

« Les commencements de rupture, immédiatement derrière les roues ou dans le moyeu, ne peuvent être découverts qu'en décalant les roues et en opérant alors comme pour les fusées, ou bien encore en faisant chauffer l'essieu au rouge et en laissant tomber de l'eau goutte à goutte sur les places suspectes. Les fissures, s'il y en a, apparaîtront comme lignes foncées. On peut aussi enlever en cet endroit un mince copeau, qui se détachera au point où il y a un commencement de rupture.

« Beaucoup d'administrations ont obtenu d'excellents résultats en allouant des primes pour la découverte des commencements de rupture.

« On ne connaît pas de construction neutralisant d'une façon efficace l'effet des ruptures d'essieux. »

[1] *Revue générale*, mai 1879.

On trouve en outre, dans le *Journal de l'Union des chemins de fer allemands* de janvier 1881 [1], une statistique très complète des ruptures d'essieux constatées pendant l'année 1879 sur les réseaux des 28 administrations de chemins de fer qui faisaient partie du *Verein ;* nous en extrayons les renseignements suivants.

Le nombre total des ruptures d'essieux constatées en 1879 a été de 98, savoir :

Essieux de locomotives.	13	
— tenders.	30	
— voitures et wagons. . .	55	(dont 8 voitures à voyageurs).
Total. . . .	98.	

Pour chacune des années comprises entre 1870 et 1879, le nombre des ruptures avait été le suivant :

ANNÉES	NOMBRE DE RUPTURES D'ESSIEUX			
	de locomotives.	de tenders.	de voitures et wagons.	Total.
1870	11	30	91	132
1871	10	46	130	186
1872	21	50	114	185
1873	11	33	101	145
1874	17	34	111	162
1875	16	20	79	145
1876	12	25	65	102
1877	16	22	58	96
1878	9	17	76 (a)	102

(a) Dont quatre voitures de voyageurs.

Les 98 ruptures de l'année 1879 se sont réparties de la manière suivante entre les mois d'hiver et les mois d'été :

58 ruptures pendant les six mois d'hiver (janvier, février, mars, octobre, novembre et décembre), dont 39 essieux en fer, et 19 essieux en acier ;
40 ruptures pendant les six mois d'été (avril, mai, juin, juillet, août et septembre), dont 34 essieux en fer, et 6 essieux en acier.

Il y a donc eu, pendant les six mois d'hiver, 18 ruptures de plus (31 p. 100) que pendant les six mois d'été. En outre, sur les 25 ruptures d'essieux en acier, il y en a eu 19 en hiver contre 6 en été, soit 216 p. 100 de plus en hiver. Ce fait se renouvelle chaque année ; il est donc digne de remarque.

La durée moyenne du service des essieux rompus en 1879 et leurs par-

[1] *Revue générale*, août 1881.

cours moyens, depuis l'origine de la mise en service jusqu'à la rupture, ont été les suivants, pour chaque type de véhicules :

	Durée moyenne du service.	Parcours moyen jusqu'à la rupture.
Essieux de locomotives.	13 ans 8 mois 23 jours	353 305 kil.
— tenders.	16 — 11 — 15 —	246 862 —
— voitures et wagons. .	16 — 0 — 6 —	258 116 —

Les ruptures se classent comme il suit, eu égard à leur position :

48,96 p. 100 sur la fusée ;
30,21 — au delà de la portée de calage ;
13,54 — dans la portée de calage ;
6,25 — vers le milieu de l'essieu ;
1,04 — au droit de la manivelle d'accouplement.

Les causes de ces ruptures se sont réparties de la manière suivante :

Usure normale.	55,11 p. 100
Mauvais métal ou fabrication défectueuse.	30,61 —
Chauffage de boites.	8,16 —
Défauts de construction.	2,04 —
Causes diverses.	4,08 —

Enfin, la charge des essieux brisés, par centimètre carré à l'endroit de la portée de calage, a varié comme il suit pour les différentes ruptures :

Il y a eu 8 ruptures sous des charges de 12 à 18 kil. par centimètre carré.
— 16 — 18 à 24 —
— 53 — 24 à 30 —
— 21 — 30 à 36 —

D'après la statistique de 1896, le nombre total des ruptures d'essieux sur l'ensemble des chemins de fer allemands a été de 41, dont 27 pour les locomotives et tenders et 14 pour les voitures et wagons.

ESSIEU TYPE DES CHEMINS DE FER AMÉRICAINS, POUR VOITURES, WAGONS ET TENDERS. — Après de longues discussions, dont l'origine remonte à l'année 1872, le comité des associations des maîtres mécaniciens et des constructeurs de voitures en Amérique a fini par adopter en 1879 un type d'essieu qui est applicable aux voitures, wagons et tenders [1]. Cet essieu est représenté par la figure 455. Il pèse 157 kilogrammes. Les dimensions les plus importantes à fixer étaient la longueur et le diamètre des fusées ; on a adopté pour la longueur 178 millimètres et pour le diamètre 96 millimètres. Le comité a estimé que les cotes adoptées devaient être considérées comme des minima

[1] *Revue générale*, novembre 1879.

pour les véhicules nouveaux. Voici sur quels arguments est fondée cette opinion.

On considérait autrefois, en Amérique, une fusée de 82 millimètres de diamètre et de 152 millimètres de longueur comme très bonne pour les véhicules à huit roues, d'une tare de 7 900 kilogrammes environ et d'un chargement de 9 tonnes. Or, la fusée est assimilable à un solide encastré à une de

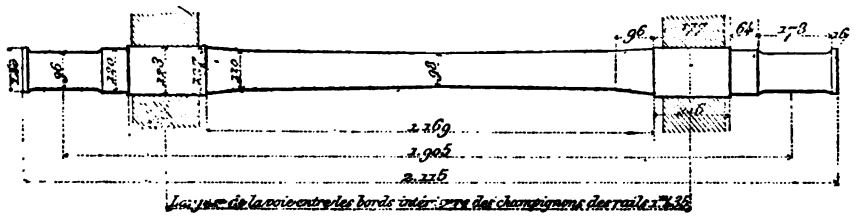


Fig. 455. — Essieu type des chemins de fer américains $\left(\text{Echelle } \frac{1}{20}\right)$.

ses extrémités, libre à l'autre et chargé au milieu de sa longueur l d'un poids P. Désignons par r le rayon de cette fusée.

Les conditions de résistance de ce solide sont données par la formule connue :

$$X = \frac{RI}{V},$$

dans laquelle on a

$$X = \frac{Pl}{2}, \text{ (moment de flexion)}$$

$$I = \frac{\pi r^4}{4}, \text{ (moment d'inertie)}$$

$$V = r \text{ (plus grande distance à la fibre moyenne).}$$

R représente l'effort par millimètre carré de section de la fusée, l et r étant exprimés en millimètres et P en kilogrammes.

On a donc

$$\frac{Pl}{2} = \frac{\pi R r^4}{4r},$$

d'où

$$P = \frac{\pi R r^3}{2l} \qquad (1)$$

Pour avoir la charge de rupture de la fusée définie ci-dessus, il faut donner à R sa valeur maxima, soit 35 kilogrammes, et remplacer dans la formule (1) les lettres par leur valeur. On en tire

$$P = 25\,000 \text{ kilogrammes environ.}$$

Or, le poids total du véhicule chargé étant de 16 900 kilogrammes et le poids des essieux montés pouvant être évalué à 2 270 kilogrammes, on voit que la charge normale de chaque fusée ne dépassait pas 1 830 kilogrammes, soit environ $\frac{1}{14}$ de la charge de rupture. La surface de portée de cette fusée étant de $8{,}2 \times 15{,}2 = 124^{cm^2}$, il en résulte que la pression sur le coussinet ne dépassait pas 14 kilogrammes environ par centimètre carré.

Avec les nouveaux wagons américains tarant 9 000 kilogrammes et pouvant porter 13,500 t. si on évalue à 2 490 kilogrammes le poids des paires de roues montées, cela donne une charge de 2 500 kilogrammes par fusée. Pour conserver le même coefficient de sécurité qu'avec les anciennes voitures, il faut donc que la fusée ne se rompe que sous une charge de $2\,500 \times 14 = 35\,000$ kg. Or, avec les dimensions adoptées de 96 millimètres de diamètre et de 178 millimètres de longueur, la formule (1) donne

$$P = 34158 \text{ kilogrammes.}$$

Le nouvel essieu est donc proportionnellement un peu plus faible que l'ancien.

Sa surface de portée est de $9{,}6 \times 17{,}8 = 171^{cm^2}$; elle supporte donc une pression de 14,6 kg. par centimètre carré.

C'est pour ces raisons que les dimensions adoptées pour la fusée du nouvel essieu américain ont été considérées comme des minima.

§ 3. — SUSPENSION

Tous les véhicules des chemins de fer sont suspendus. C'est évidemment indispensable pour les voitures à voyageurs : c'est fort utile pour les wagons à marchandises, au point de vue de la conservation du matériel. Les ressorts s'appuient en leur milieu sur les boîtes à graisse et reçoivent à leurs extrémités la pression des longerons du châssis (fig. 456 et 457).

On sait quelle est la fonction d'un ressort : interposé entre la boîte à graissage et la caisse de la voiture, lorsque, par suite d'une inégalité dans la voie, la roue reçoit un choc, le ressort, qui est flexible, emmagasine le travail de ce choc en se déformant; puis, revenant à sa forme primitive, il transmet peu à peu ce travail à la caisse.

Les ressorts peuvent se faire au moyen d'une seule lame d'acier ; on les a employés sous cette forme en Allemagne. Mais on y a renoncé à cause de la difficulté de fabrication et on emploie généralement aujourd'hui les ressorts à feuilles étagées de longueur inégale.

Le profil longitudinal d'un ressort doit être parabolique, d'abord à cause de l'économie de matière que procure l'emploi de cette forme comparée à

celle d'une lame d'épaisseur constante ; ensuite, parce qu'elle a pour effet de doubler l'effet du ressort, ainsi qu'il est facile de s'en convaincre.

En effet, d'après la théorie des ressorts établie par M. *Phillips*[1], lorsqu'un ressort reçoit un choc qui lui fait prendre une flèche égale à f, le travail emmagasiné par le ressort est représenté par Pf, P étant la charge statique qui, appliquée en son milieu, produirait la même flèche.

Or on sait, d'après les théorèmes de la Résistance des matériaux, que

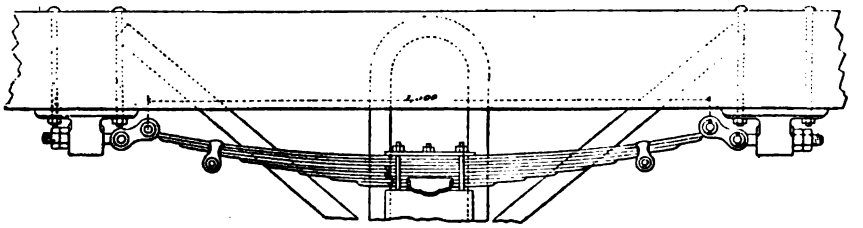


Fig. 456. — Mode d'attache des ressorts de suspension $\left(\frac{1}{20}\right)$.

lorsqu'une pièce repose sur deux appuis à ses extrémités et qu'on vient à la charger d'un poids P en son milieu, la flèche que prend cette pièce est deux fois plus grande lorsque sa section longitudinale est parabolique que lorsque cette section est prismatique ; l'effort produit dans la pièce est d'ailleurs le

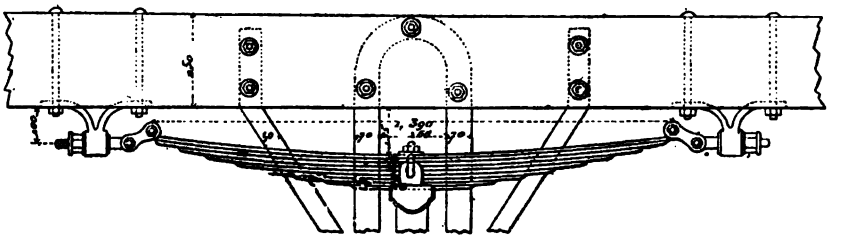


Fig. 457. — Mode d'attache des ressorts de suspension $\left(\frac{1}{20}\right)$.

même dans les deux cas, lorsque la section transversale est la même au milieu.

Il y a donc grand avantage à donner aux ressorts la forme parabolique, qui est celle des solides d'*égale résistance ;* l'effort qu'ils supportent sous une charge donnée n'est pas plus grand, mais la flèche qu'ils prennent est double. Le travail qu'ils emmagasinent (Pf) est, par suite, deux fois plus grand, ce qui revient à dire qu'ils sont deux fois plus efficaces.

Cette forme parabolique se réalise au moyen de lames d'acier superposées, au nombre de dix environ, de longueurs décroissantes depuis celle de

[1] *Annales des Mines*, 5e série, t. Ier, 1852.

la partie supérieure, qu'on appelle la *maîtresse-lame*, jusqu'à la lame inférieure.

Les ressorts de suspension agissent par aplatissement et leur flèche de fabrication varie, en général, de 12 à 18 centimètres.

En France [1], les ressorts employés ont à peu près tous la même forme : les lames étagées ont une section rectangulaire, avec amincissement graduel à leurs extrémités sur la longueur de l'étagement, de manière à se rapprocher le plus possible de la forme du solide d'égale résistance, et à réaliser un aspect élégant (fig. 458).

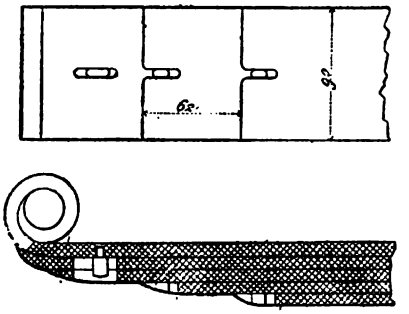


Fig. 458. — Ressort français. Lames à étoquiaux (Ouest).

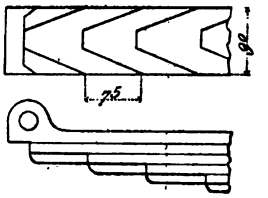


Fig. 459. — Ressort anglais et allemand.

En Angleterre et en Allemagne, le bout des lames a très souvent une épaisseur constante, mais il est terminé par un trapèze dont la grande base est placée à l'extrémité de la feuille suivante (fig. 459).

L'assemblage des lames entre elles est réalisé, au milieu de leur longueur, par un boulon ou un rivet de 8 à 10 millimètres de diamètre et, aux extrémités, par des goujons ou *étoquiaux* (fig. 458), qui sont fixés au-dessous de chaque lame et glissent dans les rainures de la lame inférieure, ce qui maintient les diverses lames exactement à l'aplomb les unes des autres. On remplace souvent aujourd'hui les étoquiaux par une cannelure longitudinale venue au laminage ; cette cannelure, saillante sur la face convexe, rentrante sur la face concave, a l'avantage de supprimer les rainures, qui affaiblissent les lames et de mieux guider celles-ci, tout en leur laissant une plus grande liberté pour leur mouvement.

La longueur des ressorts était autrefois de 1,50 m. à 2 mètres, mais l'accroissement de la longueur des véhicules et le plus grand écartement donné aux essieux en vue des grandes vitesses ont conduit à augmenter la longueur des ressorts, de manière à obtenir une plus grande flexibilité et par suite plus de stabilité et de douceur dans la suspension. Les ressorts atteignent aujourd'hui 2, 50 m. environ entre les points d'attache pour les voitures de 1re classe et de luxe. Pour les autres voitures, la longueur varie entre 1,40 m. et 1, 80 m.

[1] Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer, par J.-B. Personne. *Revue générale*, juin 1881.

Pour les wagons de marchandises, la longueur moyenne est d'environ 1 mètre ; on n'a pas ici à se préoccuper, en effet, de la question de grande vitesse.

La flexibilité des ressorts varie dans des limites assez étendues ; elle est comprise :

Entre 60 et 145	millimètres	par	tonne	pour les voitures de toutes classes ;
— 30 et 40	—		—	pour les fourgons à bagages ;
— 14 et 20	—		—	pour les wagons à marchandises.

Les lames, qui avaient autrefois 7 à 8 centimètres de largeur sur 10 à 12 millimètres d'épaisseur, ont maintenant une section de 90 millimètres sur 10, 12 et même 14 millimètres pour les grands ressorts.

Leur poids varie de 70 à 140 kilogrammes pour les voitures à voyageurs ; il est de 45 à 55 kilogrammes pour les wagons à marchandises.

Les ressorts se font en acier. Autrefois on employait l'acier corroyé ; on l'a d'abord remplacé par l'acier fondu au creuset, dont la qualité est bien supérieure ; on se sert maintenant beaucoup des aciers Bessemer ou Siémens-Martin, en ayant soin d'en vérifier la qualité et en exigeant un métal dur et nerveux.

Menottes. — Autrefois, les longerons des châssis reposaient directement sur l'extrémité des ressorts, ceux-ci étant guidés par des glissières à joues latérales ; aujourd'hui, même dans le matériel à marchandises, les ressorts sont reliés au châssis par des *menottes* (fig. 456 et 457) inclinées sur l'horizontale, fixées au châssis par des *mains* en fer et mobiles autour de leur point d'attache. On évite ainsi le frottement et on facilite le jeu des ressorts dans le sens vertical. En outre, on donne à l'essieu la liberté de profiter du jeu que lui laissent les plaques de garde ; la solidarité qui existe, par ce moyen, entre le châssis et les roues est assez complète pour que l'entraînement des essieux ait lieu par la traction horizontale exercée sur les ressorts, sans l'intermédiaire des plaques de garde ; celles-ci ne sont plus, dès lors, que des appareils de sûreté.

Dans un certain nombre de voitures à suspension perfectionnée, telles que les voitures de première classe à grande vitesse de l'Orléans, les voitures-lits de l'Est, celles de la compagnie internationale des wagons-lits, etc., les menottes ont été remplacées par des anneaux et des rondelles de caoutchouc ont été interposées entre les mains et les ressorts, de manière à atténuer les vibrations produites par le mouvement à grande vitesse.

Double suspension. — La suspension du matériel à voyageurs est, en somme, assez analogue à celle des voitures qui circulent sur les routes ;

elle est même moins perfectionnée que celle des voitures de luxe. Depuis longtemps, la compagnie d'Orléans s'est préoccupée de l'améliorer, en faisant reposer la caisse sur le châssis par de larges rondelles en caoutchouc, appliquées sur des supports en fonte fixés extérieurement contre les brancards du châssis (fig. 460 et 461). Cette amélioration, apportée en 1855 par cette compagnie à la suspension de ses voitures de première classe, a été

Compagnie d'Orléans. Voitures de 1re classe à quatre compartiments.

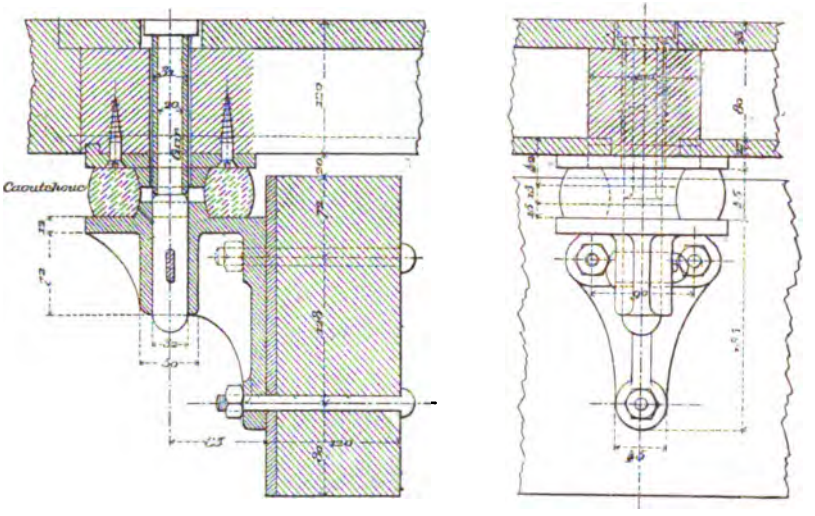


Fig. 460 et 461. — Double suspension (Echelle $\frac{1}{5}$).

successivement adoptée par d'autres compagnies, avec des dispositions variées tant en France qu'à l'étranger. Elle a pour but, non pas d'augmenter l'élasticité de la suspension, mais d'empêcher la transmission des vibrations qui se produisent à grande vitesse et d'atténuer les trépidations de la voie.

Les chemins de fer anglais et allemands, les compagnies de l'Ouest, de P.-L.-M., de l'Est et le réseau de l'Etat, emploient dans ce but des plaques ou des rondelles de caoutchouc interposées entre le châssis et la caisse ; les compagnies du Nord et du Midi obtiennent le même résultat au moyen de ressorts d'acier en spirales.

Un constructeur allemand, M. *Reifert*, a été plus loin, au point de vue de la séparation de la caisse et du châssis par un appareil élastique [1]. Dans la voiture de première classe des chemins wurtembergeois, établie par ce constructeur et représentée par les figures 462 et 463, la caisse est suspendue sur le châssis par six ressorts, et ce dernier est lui-même suspendu sur les essieux par les procédés ordinaires. La caisse est engagée

[1] Couche. *Voie, matériel roulant et exploitation technique des Chemins de fer*, t. II, p. 93.

avec un certain jeu entre les saillies formées par les extrémités du châssis, de manière à éviter son déplacement horizontal dans les tamponnements. Cette voiture a, d'après M. Couche, une allure très douce, très tranquille ; on peut y lire et même écrire à grande vitesse, à peu près comme si elle était immobile.

Voiture de 1re classe à double suspension de M. Reifert. Chemins wurtembergeois.
(Echelle $\frac{1}{100}$)

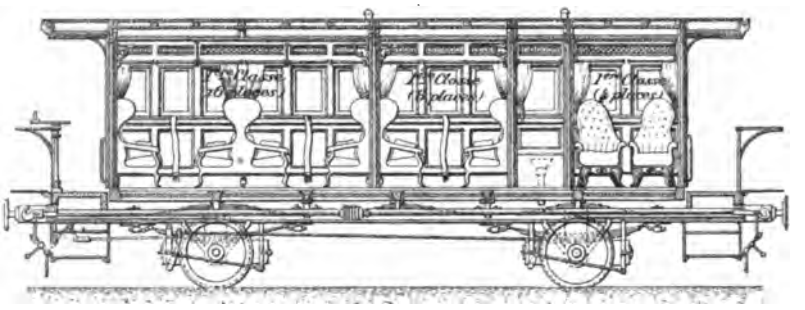


Fig. 462. — Élévation.

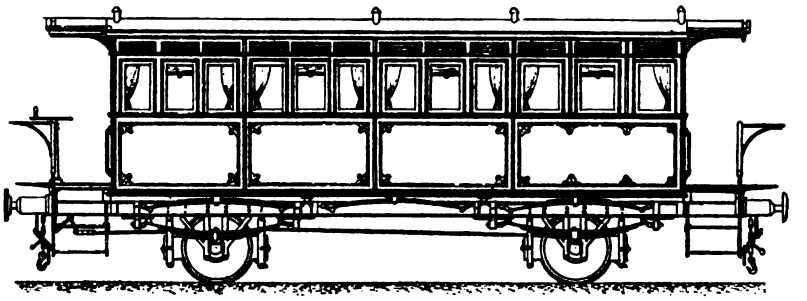


Fig. 463. — Coupe longitudinale.

Cette disposition, assez compliquée et coûteuse, a été appliquée à certaines voitures de luxe des compagnies françaises (Nord et Orléans); elle l'a été également en Allemagne et en Russie.

La double suspension est très usitée aux États-Unis, mais sous des formes un peu différentes, par suite de l'emploi des *trucks* ou *bogies* pour supporter les véhicules, ainsi que nous le verrons plus loin. Le châssis principal est suspendu sur les châssis des trucks et ceux-ci sont eux-mêmes suspendus sur les essieux.

Cette double suspension est d'ailleurs justifiée par l'état des voies américaines, généralement moins bonnes que celles des chemins de fer d'Europe ; les voitures ainsi suspendues y prennent un roulement assez doux et une grande stabilité, grâce au grand écartement des trucks et aussi à cause du poids considérable des véhicules.

La question de la double suspension des véhicules a été traitée par le

Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887). Voici comment elle a été posée et le résumé des conclusions adoptées [1] :

Y a-t-il avantage à suspendre, non seulement le châssis sur les essieux par l'intermédiaire de ressorts, mais encore la caisse sur le châssis au moyen d'autres ressorts, et cette pratique est-elle de nature à donner un roulement uniforme et suffisamment élastique, sans arriver jusqu'à une sorte d'instabilité ; ou bien doit-on se borner à suspendre le châssis sur les essieux en interposant entre la caisse et le châssis, — quand celle-là est séparée de celui-ci, — des matières élastiques plus ou moins assourdissantes, comme les plaques de caoutchouc, de feutre, etc. ; la nécessité de concentrer la matière élastique de la suspension dans le châssis étant d'ailleurs évidente pour les voitures où la caisse ne fait qu'un avec le châssis ?

La douceur des voitures dépend évidemment, en grande partie, de l'état de la voie sur laquelle elles roulent ; mais, en présence de l'étendue des réseaux, dont toutes les parties ne peuvent pas toujours être dans un état d'entretien parfait, en présence des relations internationales qui tendent à se développer de plus en plus, il semble intéressant de donner aux voitures une suspension qui permette une circulation satisfaisante, même sur les voies les plus fatiguées.

Plusieurs circonstances militent en faveur de la double suspension ; parmi ces circonstances on peut citer l'augmentation du poids des voitures.

Avec les voitures du type actuel à deux essieux, il devient fort difficile de donner aux ressorts à lames à la fois une masse élastique, qui résiste aux charges des voitures lourdes, et la flexibilité indispensable pour obtenir une suspension douce. L'espace nécessaire pour loger les ressorts, dont l'épaisseur et la longueur augmentent forcément avec le poids à porter, devient difficile à trouver entre le dessus des boîtes et le dessous des longerons des châssis ; il faut donc suppléer, d'une manière ou d'une autre, à l'insuffisance des ressorts de suspension ainsi établis pour absorber les chocs et les trépidations qui se produisent au contact du bandage avec la voie. La double suspension est un moyen de résoudre le problème.

En dehors de ce moyen, plusieurs dispositions peuvent être employées pour arriver au même résultat ; l'interposition de matières assourdissantes en un point quelconque entre le rail et les voyageurs, l'emploi de tapis sur le plancher des voitures, de suspensions intérieures des sièges, etc., tous ces moyens peuvent concourir à amortir les chocs qui se produisent pendant la marche.

Dans les voitures américaines portées sur deux trucks, toute la masse élastique est concentrée dans la suspension des trucks et les ressorts sont disposés, les uns pour atténuer les chocs latéraux produits par le passage dans les courbes à grande vitesse, les autres pour amortir les effets des inégalités de la voie.

Un fait remarquable, attesté par le témoignage des ingénieurs américains, c'est que, dans leurs voitures de grande masse, les vibrations se font moins sentir à grande vitesse qu'à petite vitesse.

Dans une circonstance mémorable, lorsqu'il s'est agi de transporter le Président de la République des États-Unis, M. *Garfield* blessé, de Washington jusqu'au bord de la mer, le brancard qui le portait, convenablement suspendu et installé dans la caisse d'une voiture du *Pensylvania Railroad*, recevait à la vitesse de 30 milles à l'heure (45 kilomètres) des trépidations gênantes pour le malade ; ces trépidations ont complètement disparu lorsque la voiture, sur le conseil de l'ingénieur de la compagnie, a pris l'allure de 60 milles à l'heure.

En résumé, le Congrès a conclu de la manière suivante : Il est possible d'obtenir des voitures dans de bonnes conditions de roulement, soit avec la

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1887.

suspension simple, soit avec la suspension double. En général, il convient d'employer : 1° les ressorts d'acier pour suspendre l'ensemble du véhicule sur les roues; 2° des matières élastiques telles que petits ressorts, lames ou blocs de caoutchouc, feutre, tapis, etc., dans le but d'absorber ou d'amortir les chocs de faible intensité et les vibrations de petite amplitude provenant du roulement de la voiture, ce qui rend en même temps tout l'ensemble moins sonore[1].

§ 4. — BOITES A GRAISSAGE

Les boîtes à graissage sont des appareils destinés à lubrifier les fusées des essieux, de manière à atténuer l'échauffement qui résulte du frottement; elles entourent complètement les fusées et les mettent ainsi, en même temps, à l'abri de la poussière.

Les ingénieurs de traction ont été pendant fort longtemps divisés au sujet de la préférence à accorder, soit à l'huile, soit à la graisse pour le graissage des fusées. De nombreuses expériences ont été faites à ce sujet; elles ne paraissent pas jusqu'à présent avoir établi d'une manière bien évidente la supériorité incontestable de l'une de ces matières sur l'autre.

La graisse, qui a été employée à l'origine a longtemps conservé la préférence sur l'huile dans certains pays, notamment en Angleterre et en France où l'on s'en sert encore concurremment avec l'huile. Aux États-Unis, au contraire, l'huile est exclusivement employée ; elle est généralement adoptée en Allemagne et en Autriche.

En somme, le graissage à l'huile est aujourd'hui le plus répandu et se développe de plus en plus ; il a l'avantage d'être plus sûr que le graissage à la graisse, car il prévient tout échauffement des fusées, tandis que la graisse n'agit que lorsqu'un commencement d'échauffement l'a rendue fluide ; en outre, au point de vue de la facilité de la traction, la supériorité de l'huile paraît bien établie. En revanche, on fait valoir en faveur de la graisse que les surfaces à lubrifier sont très petites et, par conséquent, soumises quelquefois à des pressions très considérables; la graisse, qui est moins fluide que l'huile, est donc moins facilement expulsée.

Quoi qu'il en soit, les types de boîtes à graissage sont innombrables. Un ingénieur allemand, M. *Heusinger de Waldegg*[2], a publié en 1886 leur monographie; elle occupait, à cette époque, un grand volume in-4° avec vingt-trois planches et il en a été certainement imaginé beaucoup d'autres depuis. Il n'est donc pas possible de songer à les décrire ici, même en nous

[1] On trouvera des détails très complets sur la *Suspension des véhicules des chemins de fer* dans l'article déjà cité de M. J.-B. Personne (*Revue générale*, juin 1881).

[2] Couche. *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. II.

bornant aux principaux. Nous ferons connaître seulement comment on les établit en général.

Les figures 464, 465 et 466 représentent une boîte à graissage de la compagnie d'Orléans.

Boîte à graisse de la compagnie d'Orléans

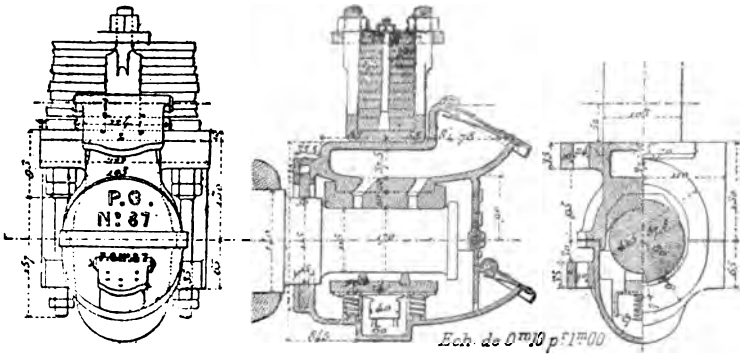


Fig. 464. Fig. 465. Fig. 466.

Elle est fixée invariablement par des boulons au ressort de suspension et elle renferme le *coussinet*, qui porte sur la partie supérieure de la fusée. Au-dessous du coussinet, elle est percée d'un trou pour donner passage à l'essieu; un système d'obturation, formé par une rondelle de cuir retenue dans une rainure de la boîte à graisse, enveloppe l'essieu, de manière à empêcher l'introduction de la poussière et de corps étrangers et aussi pour s'opposer à la sortie de la matière lubrifiante que projette la fusée dans son mouvement de rotation. C'est là qu'est la principale difficulté de la confection des boîtes à graissage et ce qui explique la multiplicité des types employés.

Détails d'un coussinet (compagnie d'Orléans).

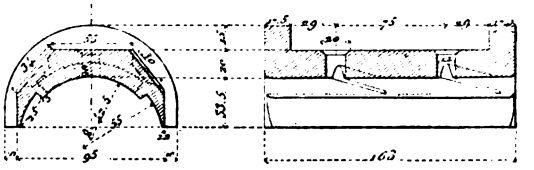
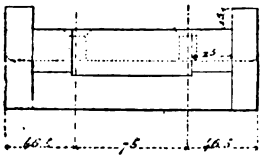


Fig. 467. — Coupe transversale.

Fig. 468. — Coupe longitudinale.



Echelle de 0,20 m. pour 1 mètre

Fig. 469. Plan vu par-dessous.

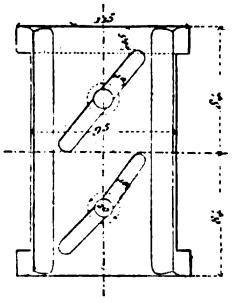


Fig. 470. Élévation.

Quand on emploie la graisse, le réservoir est nécessairement placé au-dessus de la fusée; le coussinet est alors percé de trous en *pattes d'araignée*, comme l'indiquent les figures 467 à 470 qui représentent les détails d'un coussinet de l'Orléans. Avec le graissage à l'huile, le réservoir peut être placé au-dessus ou au-dessous de la fusée. S'il est placé au-dessus, une

mèche s'y trouve plongée et aboutit dans les trous du coussinet, de manière à faire siphonner l'huile (fig. 471) ; si le réservoir est situé au-dessous de la fusée, on rachète la hauteur de cette dernière au-dessus du niveau variable de l'huile au moyen d'un tampon de feutre ou de toute autre matière convenable, avec des mèches de coton baignant dans l'huile, et pressé contre la fusée au moyen de deux ressorts à boudin.

La boîte, représentée par les figures 464 à 466, est un type mixte que la compagnie d'Orléans a combiné pour être adapté aux véhicules de ses trains

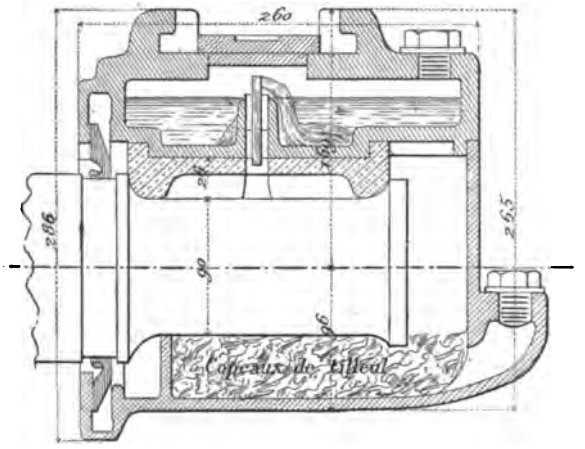


Fig. 471. — Boîte à huile, système Becker (Nord autrichien).

de grande vitesse. Elle est disposée pour fonctionner normalement à l'huile et accidentellement à la graisse. Dans ce but elle comporte un réservoir inférieur contenant de l'huile et un réservoir supérieur, rempli de graisse solide, qui ne doit agir que dans le cas de chauffage prononcé de la fusée; les lumières de ce réservoir sont fermées par un bouchon fusible, dont on peut régler à volonté la température de fusion.

Les boîtes à graissage se construisent en fonte; quant aux coussinets, on les fait généralement en bronze et leur composition ordinaire en France, est de 82 parties de cuivre pour 18 d'étain. En Allemagne, on emploie sur une assez grande échelle un métal blanc, l'anti-friction, composé de cuivre, d'étain et d'antimoine.

Mentionnons, pour mémoire, des essais de graissage à l'eau qui ont été faits en Belgique, et qui n'ont pas donné de résultats satisfaisants. On a essayé également un graissage mixte à l'eau et à la graisse. En Amérique on se sert souvent de l'eau de savon.

Le Congrès international des chemins de fer a fait figurer au programme de sa deuxième session, tenue à Milan en 1887, l'étude de la question suivante : *Quel est le meilleur mode de graissage et le meilleur système de boîtes à graisse ?*

Nous croyons intéressant de faire connaître ci-dessous, en les résumant, les conclusions adoptées par le Congrès à cet égard[1] :

Le graissage des boîtes est une question qui a pris, dans ces dernières années, une importance d'autant plus grande que la vitesse des trains s'est généralement augmentée, aussi bien pour le service des marchandises que pour celui des voyageurs, et que les trajets des véhicules sont devenus plus considérables.

La valeur d'un système de graissage dépend des éléments suivants :

1° Le choix de la matière lubrifiante ;

2° La forme du coussinet et la nature du métal employé dans sa fabrication ;

3° Le mode de construction de la boîte, tant au point de vue de la figure que du métal employé.

4° Les facilités que le mode de construction offre à l'exploitation pour la visite et l'entretien de cet organe essentiel du roulement.

Nature de la matière lubrifiante. — Pendant longtemps la matière employée a été la graisse solide de composition variable, non seulement suivant les réseaux, mais aussi suivant les saisons. Elle est maintenant à peu près abandonnée, comme graissage unique, sur les réseaux du continent européen, où elle conserve cependant encore quelques partisans. En Angleterre, elle est presque généralement adoptée. On lui reproche de créer plus de résistance que les liquides, non seulement au démarrage, mais même pendant la marche.

Les liquides lubrifiants qu'on substitue à la graisse sont les suivants :

L'huile animale, dans les pays où la production en est facile ;

L'huile végétale, — colza, olive, navette, résine, etc., — dans d'autres pays ;

L'huile minérale, dans certaines contrées où elle est à bas prix, comme la Russie et l'Amérique.

La caractéristique des progrès de ces dernières années, pour les compagnies qui avaient adopté le graissage à l'huile, consiste à avoir substitué à l'huile de colza pure, soit des mélanges d'huiles végétales et minérales, soit même l'huile minérale seule.

De nombreuses expériences ont été faites à cet égard ; elles ont été, en général, favorables à l'emploi de mélanges dont la composition varie suivant le climat et la nature des matières employées. Dans ces mélanges, la proportion d'huile végétale mélangée à l'huile minérale varie de 15 à 40 p. 100. Dans ces conditions, l'emploi du mélange est beaucoup moins coûteux que celui de l'huile de colza pure et donne des résultats très satisfaisants.

Forme du coussinet et nature du métal employé. — D'une manière générale, on s'est bien trouvé de diminuer la largeur des coussinets, c'est-à-dire l'arc cylindrique de la fusée embrassé par eux. Cette réduction de largeur est d'une pratique constante en Angleterre et elle donne de très bons résultats.

Quant à la nature du métal, l'opinion presque unanime des ingénieurs est que le bronze est avantageusement remplacé par du métal blanc.

Il y a lieu de citer, à cet égard, l'expérience très concluante de la Société internationale des wagons-lits, qui a substitué d'une manière générale les coussinets en métal blanc aux coussinets en bronze dans la construction des boîtes de ses voitures, destinées à des parcours extrêmement longs, sur des réseaux dont les matières et les méthodes de graissage varient considérablement et pour lesquelles le chauffage des fusées est un incident des plus graves, puisqu'il a pour résultat fatal le transbordement des voyageurs, dans des conditions souvent fort difficiles. Or, l'emploi des coussinets en métal blanc aurait diminué dans des proportions considérables les chauffages en route ; de sorte que le service, assez irrégulier à l'origine, est aujourd'hui parfaitement assuré.

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1887.

Le métal blanc paraît également donner lieu à un frottement plus faible que le bronze ce qui correspond à un abaissement de la résistance à la traction.

En outre, la composition de l'alliage qui forme le métal blanc (cuivre, antimoine et étain) peut varier, suivant qu'il s'agit de voitures à voyageurs ou de wagons à marchandises, ce qui est avantageux au point de vue de l'usure du coussinet.

Quant à la pression sur la surface du coussinet, elle doit être sagement limitée, eu égard à la nature du lubrifiant et du métal employés.

Forme de la boîte et matière employée dans sa fabrication. — Parmi les innombrables formes de boîtes employées, les unes sont en deux pièces, le dessus et le dessous de la boîte ; les autres sont en une seule pièce.

Les deux systèmes ont donné de bons résultats. Le point principal qu'on doit avoir en vue est d'éviter les pertes d'huile. Sous ce rapport, il est très important de choisir un bon joint et des obturateurs bien appropriés.

La nature du métal de la boîte n'est pas non plus indifférente. En général, les boîtes sont en fonte ; malgré l'inconvénient qu'il a d'être cassant, ce métal donne de bons résultats et s'accommode bien de larges surfaces de guidage et de la construction de la boîte en une seule pièce.

Depuis quelques années, plusieurs compagnies ont employé avec succès des dessus et des dessous de boîtes en fer forgé, étampés à une haute température ; on commence même à se servir pour cette fabrication de l'acier coulé, sur la valeur duquel l'expérience ne s'est pas encore suffisamment prononcée.

Visite et entretien. — Au point de vue de l'entretien, il semble bon de préparer par un rodage préalable le contact parfait entre la fusée et le coussinet, et d'éviter toutes les mesures qui tendraient à détruire ce contact, qu'on doit désirer le plus intime et le plus prolongé possible.

Il faut donc que les soins à donner aux boîtes, tant avant la mise en service des véhicules que pendant leur marche, soient rendus faciles, mais que les levages périodiques soient distancés le plus possible, de manière à ne pas détruire l'harmonie de l'alliance qui s'établit par le frottement entre le coussinet et la fusée.

BOÎTE A GALETS. — On a essayé de diminuer ou même de supprimer le frottement de glissement que produit la fusée en tournant dans le coussinet.

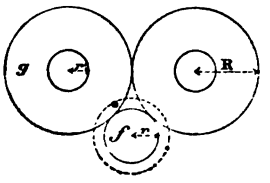


Fig. 472. — Boîte à galets.
f. fusée. — *g*. galet de friction.

Pour atténuer ce frottement, il suffit de transmettre à la fusée le poids du véhicule au moyen de galets de friction tournant sur des axes de petit diamètre. Si on désigne par r le rayon de la fusée, par R celui des galets et par r' celui de leurs axes (fig. 472), le chemin parcouru, pendant un tour de roue, par le frottement de glissement serait égal à $2\pi r$, si les galets n'existaient pas ; il se trouve réduit par la présence des galets à $\frac{2\pi r r'}{R}$, puisqu'il s'exerce alors sur les axes des galets. Le rapport qui représente cette réduction est égal à

$$2\pi r : \frac{2\pi r r'}{R},$$

ou à

$$\frac{R}{r'}.$$

Pour supprimer complètement le frottement de glissement et le remplacer par le frottement de roulement, il suffit de transmettre la charge à la fusée par des galets recevant eux-mêmes cette charge sur leur circonférence. Il n'y a plus alors aucun glissement de surfaces l'une contre l'autre, mais simplement roulement.

Dans les deux cas (le frottement de roulement étant inférieur au frottement de glissement) l'effort de traction à produire doit être diminué. Malheureusement l'expérience n'a pas été favorable à ces dispositifs, en ce qui concerne les wagons. Ces appareils conviennent bien, en effet, à des véhicules tels que les chariots roulants, dont les mouvements sont toujours lents; mais, appliqués à des wagons qui sont exposés à des chocs violents, ils se détériorent très facilement.

Les deux dispositions indiquées ci-dessus ont été appliquées, la première sur le réseau du Nord, la seconde sur le réseau de l'Est. Sur les wagons du Nord, il y avait deux galets de friction, disposés comme dans la figure 472 ; leur diamètre était de 0,16 m. (à peu près le double de celui de la fusée), celui de leurs axes en acier était de 0,03 m. On les a abandonnés après une expérience assez courte.

Sur les wagons de l'Est, la fusée était entourée d'une couronne de galets, tournant autour d'elle. Ces galets principaux étaient eux-mêmes séparés par d'autres galets plus petits et tournant en sens contraire des premiers. Ce dispositif a été également abandonné comme ne produisant pas les résultats qu'on en espérait.

En somme, la boîte à galets est un appareil aujourd'hui abandonné sur les chemins de fer. Sa complication et la délicatesse de ses organes, qui se fait sentir surtout à grande vitesse, ont fait renoncer à son emploi et on se sert maintenant exclusivement de boîtes à graissage dans lesquelles la fusée frotte contre le coussinet.

On donne à ce dernier une épaisseur de 0,012 m. à 0,015 m. ; en raison de l'énorme frottement auquel il est soumis, le coussinet s'use très rapidement ; on le remplace quand son épaisseur est réduite à 6 millimètres [1].

§ 5. — PLAQUES DE GARDE

La plaque de garde est une sorte de fourchette, qui est invariablement fixée au châssis et qui saisit la boîte à graissage de manière à la maintenir

[1] Consulter, au sujet des boîtes à graissage, les Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer, par M. J.-B. Personne (*Revue générale*, août 1883).

Voir aussi une Note sur l'emploi comparé des huiles de colza et des huiles minérales pour le graissage du matériel roulant, par M. Louis Salomon (*Revue générale*, avril, juillet et octobre 1885).

dans sa position normale (fig. 473). La plaque de garde est toujours appliquée sur la face interne du longeron.

Nous avons vu, à propos de la suspension des voitures, que l'emploi des menottes inclinées sur l'horizontale réalise entre le châssis et les essieux une liaison suffisante pour que l'entraînement des essieux ait lieu par la traction horizontale exercée sur les ressorts, et que les plaques de garde deviennent ainsi principalement des appareils de sûreté. Leur utilité se fait sentir, par exemple, quand un ressort se sépare d'une main de suspension, et, en tout cas, pour guider les oscillations de la boîte à graisse sous l'action du ressort.

Pendant longtemps on a réuni les extrémités inférieures des deux plaques

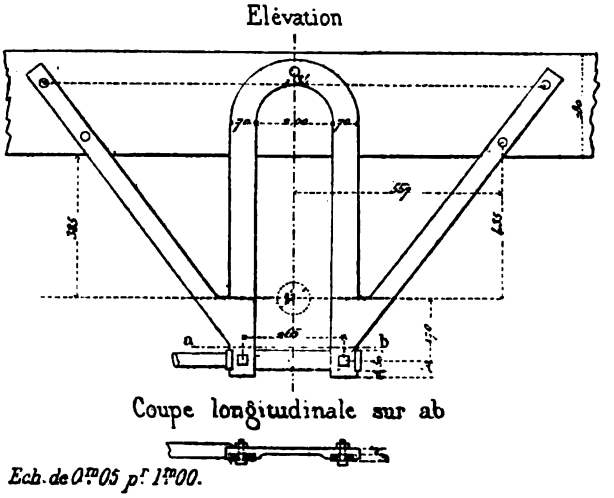


Fig. 473. — Plaque de garde.

de garde situées d'un même côté de la voiture par un tirant horizontal (fig. 473) destiné à maintenir leur écartement. On pense généralement aujourd'hui que cet entretoisement est inutile et on le supprime, sauf pour les wagons à freins à deux sabots, où il a pour effet de soulager les plaques de garde soumises à la pression des sabots placés entre les roues.

Les plaques de garde, avons-nous dit, maintiennent les boîtes à graissage et par suite les essieux, dans leur position normale ; mais il existe un certain jeu entre les plaques de garde et les boîtes, et ce jeu est destiné à permettre aux essieux de s'écarter un peu de leur position parallèle lorsqu'ils parcourent une courbe.

Ce jeu est bien faible ; il varie de 5 à 10 millimètres de chaque côté de la boîte pour les voitures à deux essieux, mais il a une très grande utilité au point de vue de la circulation en courbe. Voici comment on peut s'en rendre compte.

Désignons par R le rayon de la courbe mesuré sur la file intérieure des

rails ; par D l'écartement des essieux ; par d celui des plaques de garde d'un même essieu et par ε le jeu des plaques de garde. Cherchons quelle est, avec le jeu ε, la limite de courbure où les essieux peuvent prendre la position radiale et où, par conséquent, la circulation du véhicule en courbe se fait, à ce point de vue, comme la circulation en ligne droite.

On a évidemment (fig. 474)

$$\frac{D - 2\varepsilon}{D + 2\varepsilon} = \frac{R}{R + d}$$

et on en tire

$$4\,\varepsilon R = d(D - 2\varepsilon).$$

On peut, dans le second membre, négliger 2 ε qui est très petit par rapport à D et l'on a

$$R = \frac{Dd}{\varepsilon 4}.$$

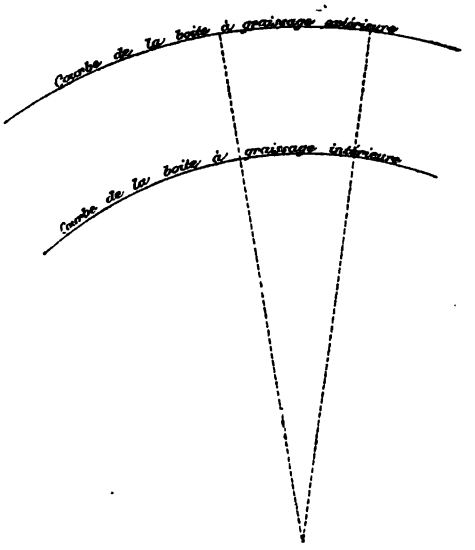


Fig. 474. — Jeu des plaques de garde.

Si l'on applique cette formule à une voiture de type courant à faible écartement d'essieu (3,60 m.) et si l'on donne à d sa valeur ordinaire, 1,80 m., en supposant qu'on adopte un jeu de 7 millimètres, on tire de la formule (1)

$$R = 230 \text{ m.}$$

On voit quel résultat important procure l'adoption d'un jeu de quelques millimètres entre les plaques de garde et les boîtes à graissage ; elle réduit de près de 200 mètres (voy. tome I, 3e partie, livre Ier, chap. II) le rayon des courbes dans lesquelles le matériel peut s'inscrire comme si le parallélisme des essieux n'existait pas.

En fait, à cause du jeu de la voie, qui permet aux boudins des roues de prendre une certaine obliquité par rapport aux rails et qui vient ajouter son effet à celui du jeu des plaques de garde, le matériel courant des chemins de fer peut pénétrer dans des courbes encore plus raides, de 100 à 150 mètres de rayon. Ce passage ne se fait, bien entendu, que grâce à une inégalité de parcours des deux roues conjuguées, c'est-à-dire avec un frottement plus grand que dans la circulation en ligne droite ; mais enfin, le véhicule passe sans se démantibuler, et c'est l'essentiel.

Ce résultat est d'ailleurs spécial aux wagons et encore à ceux dans lesquels l'écartement des essieux est de 3,50 m. à 4 mètres ; les locomotives ordinaires ne pourraient pas pénétrer dans des courbes aussi raides, ce qui

en définitive exclut leur emploi dans le tracé des lignes. Mais on peut les adopter sans inconvénient sur les embranchements particuliers, où les mouvements de wagons se font surtout à bras ou à traction de chevaux, et c'est une ressource précieuse pour le raccordement des voies desservies par ces embranchements.

Le jeu des plaques de garde n'est pas le seul procédé qu'on emploie pour faciliter la circulation du matériel dans les courbes ; nous traitons plus loin cette question dans un chapitre spécial [1].

§ 6. — ROUES

Malgré l'avantage que présentent, au point de vue de l'effort de traction, les roues à grand diamètre, celles du matériel des chemins de fer sont, à cause de leur position sous la caisse, notablement plus petites que les roues des voitures ordinaires ; elles ont uniformément 0,90 m. à 1 mètre de diamètre, sauf sur quelques chemins anglais, le Great Weastern, par exemple, où le diamètre des roues des voitures à voyageurs est plus considérable. On est obligé de les engager sous les banquettes et il en résulte une gêne et une complication pour l'aménagement intérieur des caisses.

Les roues des véhicules de chemins de fer doivent être à la fois très solides, à cause de la grande vitesse avec laquelle elles tournent, et très légères, afin de ne pas trop augmenter le poids mort.

Au point de vue de leur construction, les roues se compose de deux parties : le *centre* et le *bandage* et on peut ramener les divers systèmes de roues usités sur tous les chemins de fer à deux types principaux : 1° *les roues à rais ;* 2° *les roues pleines ou à disque*.

Nous allons examiner successivement ces deux types de roues ; nous nous occuperons ensuite des bandages.

Roues a rais. — Pendant longtemps, le centre de ces roues a été formé d'un moyeu en fonte et de rais en fer laminé, disposés comme l'indiquent les deux figures 475 et 476. Les barres de fer laminé, courbées à chaud suivant des formes diverses, viennent plonger leurs extrémités dans la fonte du moyeu et forment ainsi les rayons de la roue, tandis que leur partie médiane en constitue la jante. Le bandage s'applique généralement sur la circonférence formée par différents secteurs en fer laminé.

La longueur du moyeu est celle de la portée de calage des essieux ; les rais ont une épaisseur moindre que la longueur du moyeu.

[1] Voir, pour plus de détails sur les plaques de garde, les Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer, par M. J.-B. Personne. *Revue générale*, janvier 1883.

Les roues à moyeu en fonte et à rais en fer laminé sont en usage depuis l'origine des chemins de fer ; on les emploie encore, par suite de leur prix

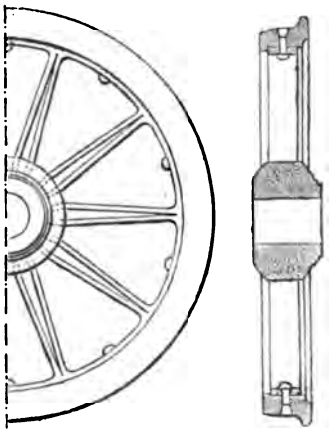


Fig. 475. — Roue à rais en fer laminé Est français $\left(\frac{1}{20}\right)$.

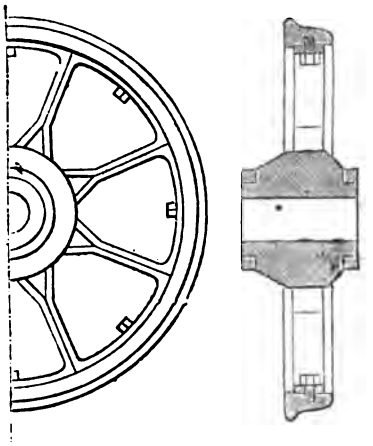


Fig. 476. — Roue à rais en fer laminé Bavière $\left(\frac{1}{20}\right)$.

peu élevé et surtout pour les wagons à marchandises. Mais on tend à les remplacer de plus en plus par des roues, dont le centre est tout entier en fer forgé.

C'est ainsi que, depuis assez longtemps, on emploie beaucoup, sur les chemins de fer français, des roues à rais simples et droits, du système de MM. *Arbel* et *Deflassieux*, maîtres de forges à Rive-de-Gier (fig. 477). Le procédé de fabrication de ces roues consiste à chauffer en même temps au blanc soudant les différents éléments qui doivent composer le centre de la roue, savoir : la jante, les rais et le moyeu. Les rais ainsi préparés ont un petit excès de longueur, de sorte que, lorsqu'on porte la roue, encore informe et chauffée au blanc, dans une étampe qui contient des creux correspondant aux différentes parties, ces rais se relèvent vers le moyeu. Quand on vient ensuite frapper sur l'ensemble au moyen d'un marteau-pilon armé de la contre-étampe, les rais sont refoulés dans les rainures du moyeu, ce qui produit une soudure parfaite de tous les éléments de la roue.

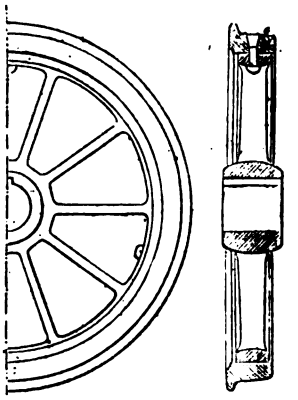


Fig. 477. — Roue à rais en fer forgé. Système Arbel $\left(\frac{1}{20}\right)$.

Les roues Arbel présentent une très grande solidité et elles sont très employées en France, surtout pour les wagons à marchandises ; elles sont également assez répandues sur plusieurs chemins de fer étrangers.

Les moyeus en fonte se font plus épais que les moyeus en fer forgé ; les

premiers ont 9 à 10 millimètres d'épaisseur, les seconds 5 à 9 millimètres seulement.

Roues pleines. — On a quelquefois reproché aux roues à rais de prendre sous l'action du roulement une forme polygonale, par suite de la différence de résistance de la jante aux points d'appui des rais et dans les parties intermédiaires ; cet effet est toutefois bien peu marqué et il n'a pu être constaté que sur des roues dont le bandage s'était usé au delà de la limite normale. Mais, ce qui est plus grave, c'est que les rais en tournant avec rapidité soulèvent la poussière du ballast, projettent quelquefois les escarbilles incandescentes qui tombent du foyer de la locomotive et, enfin, présentent à l'air une résistance considérable. D'après M. Bochet, ingénieur des mines[1], à la vitesse de 400 tours par minute, la résistance de l'air sur les roues pleines n'est que la moitié de ce qu'elle est sur les mêmes roues évidées.

Ces différentes raisons ont conduit, d'une part, à garnir les intervalles des roues à rais soit avec des disques en bois, soit avec des feuilles de tôle et, d'autre part, à remplacer dans les roues neuves les rais par des disques pleins.

Les roues pleines sont très employées en Allemagne, en Autriche, en Angleterre et en Belgique ; leur usage est général en Amérique ; on les emploie également sur les réseaux français. On peut les classer de la manière suivantes : 1° *Roues en fonte ;* 2° *Roues en fer laminé ;* 3° *Roues en acier fondu ;* 4° *Roues en bois ;* 5° *Roues en papier comprimé.*

1° *Roues en fonte.* — L'usage des roues en fonte est très ancien ; on les emploie dans les mines depuis plus d'un siècle. A l'origine des chemins de fer, on s'en est également servi en Europe pendant quelques années ; mais, à la suite d'un certain nombre de ruptures, elles ont été abandonnées. Sur les chemins de fer français, leur emploi a été interdit dans les trains de voyageurs par l'ordonnance du 15 novembre 1846, dont l'article 10 (titre II) était ainsi conçu :

« Il est interdit de placer, dans un convoi comprenant des voitures de voyageurs, aucune locomotive, tender ou autre voiture d'une nature quelconque, montée sur des roues en fonte.

« Toutefois, le ministre des Travaux publics pourra, par exception, autoriser l'emploi des roues en fonte, cerclées en fer, dans les trains mixtes de voyageurs et de marchandises, et marchant à la vitesse d'au plus 25 kilomètres à l'heure. »

Un décret du 23 janvier 1889 a modifié cet article et l'a remplacé par la disposition suivante :

[1] Goschler. *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, t. III.

« Il est interdit d'affecter au transport des voyageurs aucune locomotive, tender ou voiture montés sur des roues en fonte, cerclées ou non en fer ou en acier.

« Les wagons de marchandises non munis de freins et montés sur roues en fonte coulées en coquille ou cerclées en fer ou en acier, pourront être placés dans les trains mixtes dont la vitesse normale de marche ne dépassera pas, à moins d'autorisation spéciale du ministre des Travaux publics, 45 kilomètres à l'heure. »

Enfin, le décret du 1er mars 1901 qui a modifié et remplacé l'ordonnance de 1846, ne fait plus aucune allusion aux véhicules montés sur roues en fonte, d'où l'on peut conclure que l'interdiction dont il s'agit ne subsiste plus [1].

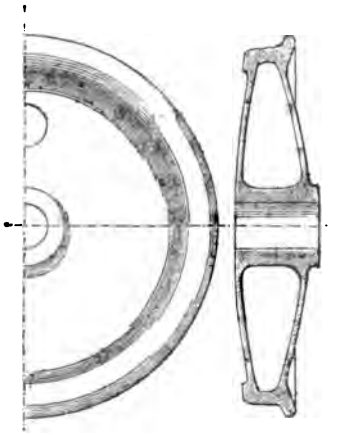


Fig. 478. — Roue pleine en fonte. Système Ganz $\left(\frac{1}{20}\right)$.

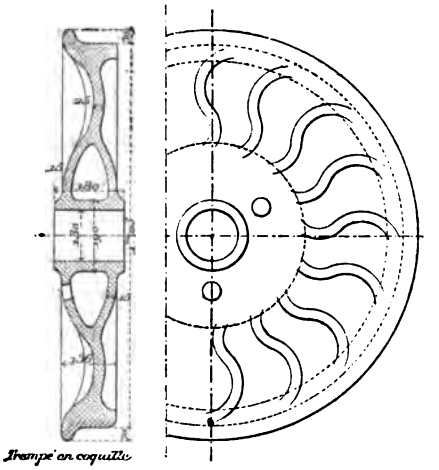


Fig. 479. — Roue en fonte du chemin de fer de l'impératrice Elisabeth (Autriche). Wagons. $\left(\text{Echelle } \frac{1}{20}\right)$.

Poids d'un corps de roue en fonte, 320 kil.

Au contraire, les roues en fonte sont d'un usage général en Amérique, où on les emploie aussi bien pour les machines que pour les voitures et les wagons.

« Les roues en fonte sont employées sans inconvénient en Amérique [2], avec des diamètres moindres que ceux que l'on donne généralement aux roues des voitures à voyageurs en Europe, pour porter des wagons plus lourds que les nôtres, sur des voies moins bien entretenues, et dans les trains marchant à toutes les vitesses, c'est-à-dire dans les trains de marchandises marchant à environ 15 kilomètres à l'heure, aussi bien que dans les trains de voyageurs atteignant et dépassant même 100 kilomètres à l'heure, et l'on n'hésite pas à faire agir sur ces roues en fonte les freins les plus puissants.

« On doit donc admettre, ou bien que l'appréhension que provoque l'emploi des roues en fonte en Europe n'est pas fondée, ou que les roues en fonte américaines sont supérieures à celles que l'on fabrique en Europe. »

[1] On verra plus loin que la conférence de Berne a admis pour la circulation internationale les roues en fonte coulées en coquille sur les wagons non munis de freins.

[2] *Les Chemins de fer en Amérique*, par E. Lavoinne et E. Pontzen, t. II. *Exploitation*.

Ce qui est certain, c'est qu'en Amérique la fonte employée est d'une qualité supérieure et que la fabrication des roues y est extrêmement soignée. On les obtient par le procédé de coulage en coquille, qui a pour résultat de donner à la surface de roulement, par l'effet de la trempe, une grande résistance à l'usure. Le corps de la roue, venu d'une seule pièce avec le bandage, a la forme d'un disque dont la paroi, simple vers le bandage, se dédouble vers le moyeu.

La figure 478 représente un type très répandu aux États-Unis ; il a été mis à exécution pour la première fois par M. *Ganz*, fondeur à *Bude* (Hongrie).

Les roues tout en fonte sont également employées en Allemagne, en Autriche et en Hongrie; mais on les réserve généralement pour les wagons qui ne sont pas soumis à l'action des freins et qui doivent circuler dans les trains de marchandises seulement. La figure 479 représente un type autrichien des chemins de fer de l'Impératrice Élisabeth.

Les roues américaines, dont le diamètre dépasse rarement 83 à 85 centimètres au roulement, pèsent de 220 à 250 kilogrammes ; on estime qu'elles peuvent fournir des parcours moyens de 100 à 150 000 kilomètres, avant d'être retirées du service. La roue autrichienne de la figure 479, qui a 1,025 m. de diamètre au roulement, pèse 320 kilogrammes.

2° *Roues en fer laminé.* — Les roues pleines en fer laminé ont été employées

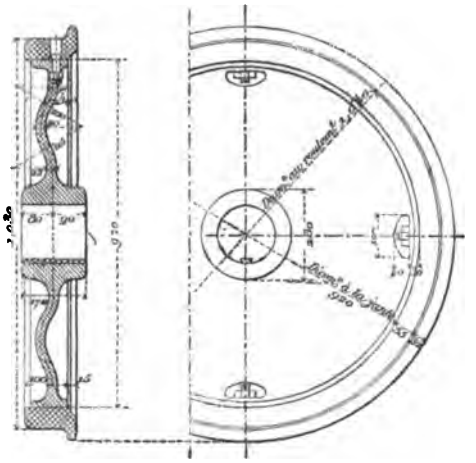


Fig. 480. — Roue à centre ondulé. — Ouest. Voitures de 1re classe à 4 compartiments et coupes (Echelle 1/20).

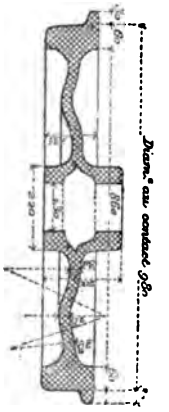


Fig. 481. — Roue à disque plein en acier fondu Krupp (1/20).
Poids d'un disque 400 kil.

pour la première fois, en France, par la compagnie d'Orléans. Limité d'abord aux trains de vitesse, leur emploi s'est bientôt généralisé et il s'étend maintenant à presque toutes les voitures à voyageurs des compagnies d'Orléans du Nord, de l'Ouest et du Midi. Le disque plein peut être plat ou ondulé. Cette dernière forme, représentée par la figure 480, a l'avantage de donner

plus d'élasticité à la roue suivant le rayon, ce qui a pour résultat de ménager le rail et le bandage. Ce perfectionnement, obtenu au laminage, a été réalisé pour la première fois par l'usine de la Providence.

3° *Roues en acier fondu.* — Elles sont très employées en Allemagne et en Angleterre. On peut les faire, soit d'une seule pièce avec une jante formant bandage (fig. 481), soit en deux morceaux, c'est-à-dire avec un bandage rapporté sur le centre. Les premières sont d'un usage plus général ; on peut prolonger leur durée, lorsqu'elles sont usées à la surface de roulement, en y rapportant un bandage ordinaire, après avoir préparé la jante pour permettre cette opération.

La forme des roues en acier est la même que celle des roues en fer ; la forme avec centre ondulé est généralement préférée.

L'emploi de ces roues ne s'est pas beaucoup développé en France jusqu'à présent, malgré l'avantage qu'elles présentent au point de vue de la résistance ; c'est que leur élasticité paraît laisser encore à désirer et qu'on craint une rupture sous l'action prolongée des freins.

L'union (Verein) des chemins de fer allemands a recommandé, dans ses conclusions de 1878 (réunion de Stuttgard), de limiter leur emploi aux wagons sans freins.

4° *Roues à centres en bois.* — On emploie en Angleterre et en Allemagne des roues composées d'un moyeu en fonte, d'un corps en bois et d'un bandage en fer ou en acier. Le corps est formé de secteurs en bois de teck, qui peut recevoir un très beau poli et qui se conserve très longtemps. Il est comprimé entre le moyeu et le bandage et consolidé par des frettes et des cercles en fer.

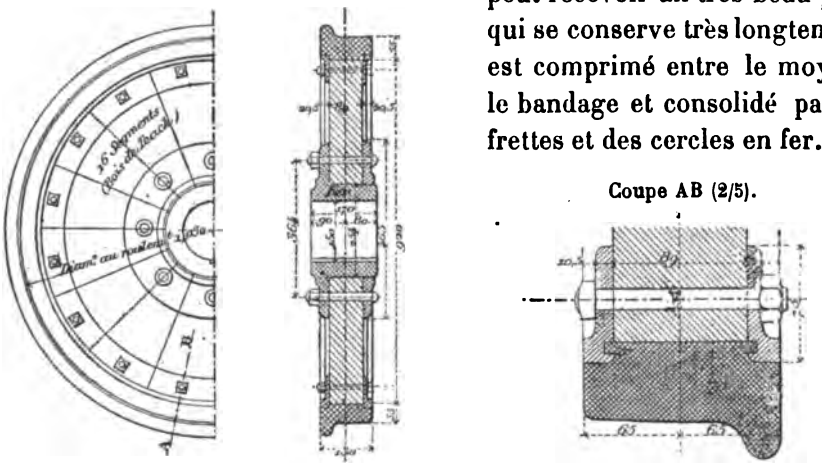


Fig. 482. — Roues à centre en bois, système Mansell. Ouest $\left(\frac{1}{20}\right)$.

En France, les compagnies d'Orléans et de l'Ouest emploient également des roues à centre en bois du type *Mansell*, représenté par la figure 482.

L'élasticité du bois offre l'avantage de permettre au bandage de se con-

tracter sous l'influence du froid, sans qu'il y ait risque de rupture ; en outre, le roulement de ces roues est plus doux que celui des autres systèmes. Mais elles ont l'inconvénient de ne pas supporter l'usage prolongé des freins. Aussi, l'emploi du frein continu du système Westinghouse les fait retirer des voitures à voyageurs de l'Ouest pour les utiliser sous les wagons à marchandises.

5° *Roues à centre en papier.* — Depuis un certain nombre d'années, on emploie en Amérique, dans le but de rendre les roues plus élastiques et moins sonores, des centres en papier comprimé. Le disque en papier est maintenu par deux cercles en fer, boulonnés contre des saillies du bandage entre lesquelles il est fixé. Ce disque est obtenu au moyen d'une pression de 500 à 600 tonnes, qui lui donne une grande dureté. En Amérique, on attribue à l'élasticité des centres en papier la grande durée de certains bandages de roues. On cite des roues à disques en papier et à bandages en acier fondu qui ont fait, sous un wagon-lit, un parcours de 525 000 kilomètres en ne passant qu'une seule fois au tour [1].

Toutefois, les applications de ce système de roues paraissent trop peu nombreuses pour qu'on puisse porter un jugement définitif sur les avantages ou les inconvénients qu'il présente.

Bandages. — Les bandages sont des cercles qui entourent la jante de la roue et qui fournissent la surface de roulement; ils portent un rebord, appelé *boudin* ou *mentonnet,* qui se trouve placé à l'intérieur de la voie et sert à maintenir les roues sur les rails.

D'après ce que nous avons fait connaître (tome I^er^, 3^e^ partie, livre I^er^, chap. II) au sujet du devers de la voie et de la conicité des bandages, le profil de ces derniers devrait varier avec les conditions du tracé des lignes que les véhicules sont appelés à parcourir; mais cette variété serait une source de complications qu'il est préférable d'éviter, et les administrations de chemins de fer ont adopté un profil de bandage absolument uniforme pour tous les véhicules qui circulent sur les différentes lignes de leur réseau. Il n'y a guère que la limite d'usure qui varie suivant qu'il s'agit du matériel à marchandises ou du matériel à voyageurs destiné aux trains de grande vitesse; on admet généralement que les bandages des wagons à marchandises peuvent subir par l'usure une réduction d'épaisseur un peu plus grande que ceux des voitures.

Les bandages employés sur les grands réseaux français, dont les figures 483 et 489 représentent les types, ont des dimensions qui varient dans les limites suivantes :

Largeur	de	125 à 135 mm.
Épaisseur moyenne au roulement	—	55 à 60 —
Saillie du boudin	—	25 à 30 —

[1] *Les Chemins de fer en Amérique.*

PROFILS DE BANDAGES DES GRANDS RÉSEAUX FRANÇAIS

(Echelle $\frac{1}{2}$).

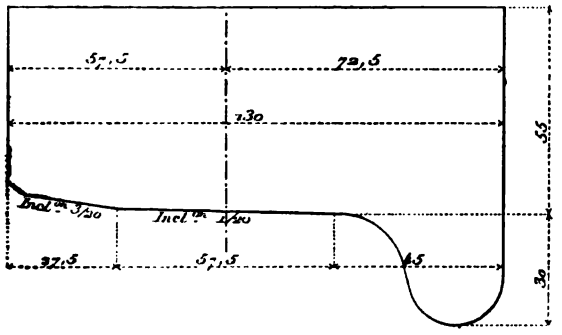


Fig. 483. — Orléans (Wagons).

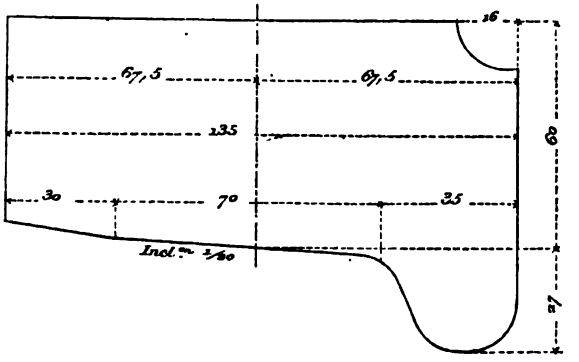


Fig. 484. — Est (Voitures et wagons).

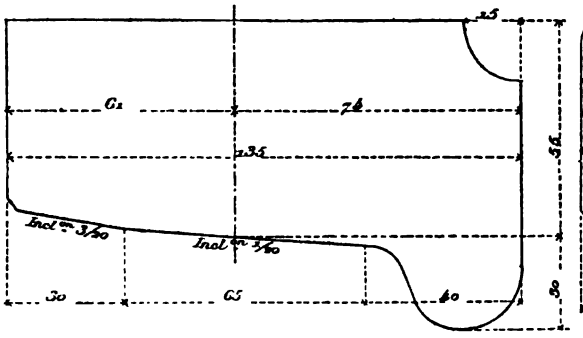


Fig. 485. — Nord (Voitures).

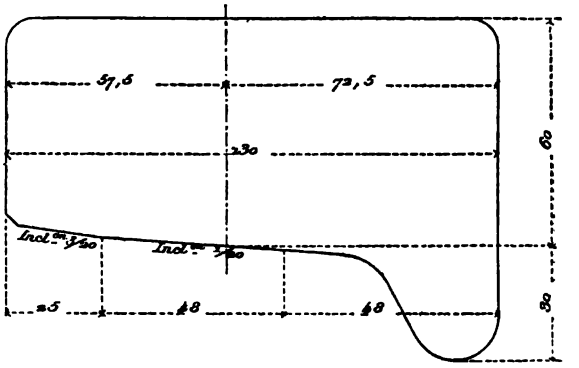


Fig. 486. — P.-L.-M. (Voitures et wagons).

Le profil de la surface de roulement présente une inclinaison uniforme de 1/20, égale à l'inclinaison des rails vers l'intérieur de la voie, raccordée avec le boudin par une courbe plus ou moins adoucie et suivie, du côté extérieur de la roue, par une partie plus inclinée (3/20 environ) ; dans les circonstances normales de la circulation, c'est la partie moyenne du bandage qui porte seul sur le rail.

En Allemagne, en Autriche, quelques réseaux ont adopté 1/16 pour la conicité du bandage; en Espagne, où la voie comporte un écartement des rails supérieur de 22 centimètres à celui de la voie française, la conicité est de 1/15, en rapport par conséquent avec ce plus grand écartement de voie.

L'usure des bandages par suite du roulement est considérable ; au bout d'un temps qui n'est pas très long, mais qui dépend naturellement du parcours de la roue, l'épaisseur du bandage diminue, principalement dans la partie centrale du profil, celle qui correspond à l'inclinaison de 1/20 ; on remet

alors les bandages sur le tour, de manière à rendre à la surface de roulement la régularité qui lui est indispensable. On comprend, en effet, que si on laissait se former au milieu de cette surface une sorte de poulie à gorge, la

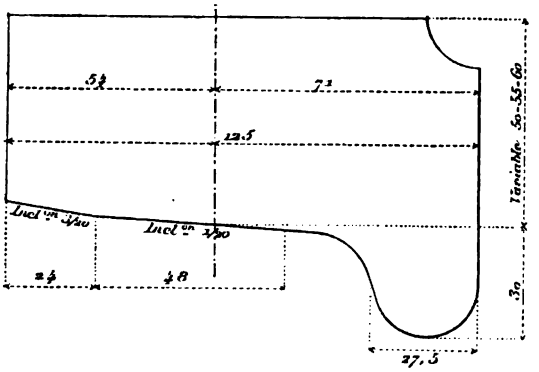


Fig. 487. — Midi (Voitures et wagons).

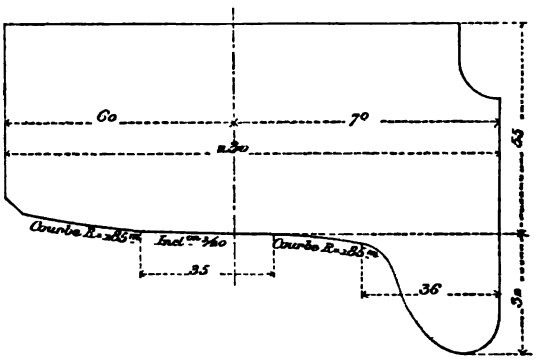


Fig. 488. — Ouest (Voitures et wagons).

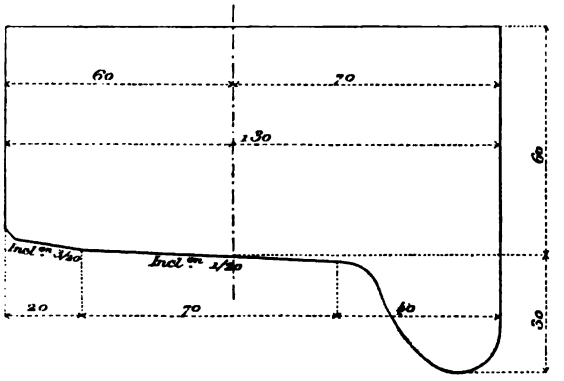


Fig. 489. — Etat (Voitures et wagons).

conicité disparaîtrait et les rails seraient rapidement détruits. On rétablit par le tournage la forme régulière du bandage, en enlevant le métal dans les parties non usées. Quand cette opération a été faite un certain nombre de fois, l'épaisseur moyenne du bandage se trouve notablement diminuée, et, quand elle est réduite à 25 ou 30 millimètres, on met le bandage au rebut et on le remplace [1].

Embattage et mode d'attache. — On se sert, pour mettre les bandages en place sur les roues, d'un moyen qu'on appelle l'*embattage* et qui est emprunté à la pratique des charrons.

On fait le diamètre intérieur du bandage un peu plus petit que le diamètre

[1] On consultera avec intérêt l'étude faite au Comité de l'Exploitation technique des chemins de fer, en 1901-1902, sur les dispositions à adopter pour les contrerails et les bandages des roues (voir notamment les notes de M. Bernheim, ingénieur des mines et de M. Pichot, colonel d'artillerie, qui ont servi de base à cette étude).

extérieur de la jante ; on chauffe le bandage de manière à le dilater et à lui permettre d'emboîter librement la jante. En se refroidissant, il exerce sur cette dernière une pression considérable, qu'on peut régler à volonté par la différence entre les deux diamètres.

Cette différence, mesurée à la température ordinaire, s'appelle le serrage ; elle est habituellement de $\frac{1}{1\,000}$.

Indépendamment de l'embattage, qui serre le bandage sur la jante, il est nécessaire de fixer ces deux pièces l'une sur l'autre d'une manière plus

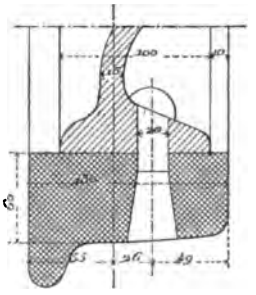


Fig. 490. — Mode d'attache des bandages (Etat français)

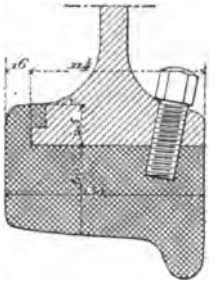


Fig. 491. — Bandage à agrafe simple. Orléans. Modèle 1878.

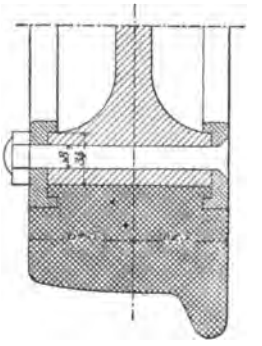


Fig. 492. — Bandage à agrafe double (Orléans).

complète, pour empêcher le bandage de glisser sur la jante ou de se séparer d'elle en cas de rupture. Cette liaison peut s'obtenir par des rivets ou des boulons en partie coniques, en partie cylindriques, qui traversent la jante et le bandage, et dont la tête est fraisée du côté du roulement (fig. 490).

Ce mode de liaison, qui est le plus ancien, est souvent remplacé par l'emploi de vis taraudées, pénétrant de deux centimètres seulement dans le bandage et ayant leur tête à l'intérieur de la jante. On complète alors l'assemblage en munissant le bandage, sur la face extérieure de la roue, d'une sorte d'agrafe circulaire qui vient emboîter une saillie correspondante de la jante (fig. 491).

Dans le but de supprimer complètement les trous percés dans le bandage, qui ont toujours pour effet de l'affaiblir un peu, la compagnie d'Orléans emploie pour les roues des voitures à voyageurs des bandages à double agrafe (fig. 492), qui sont réunis au centre de la roue par deux cercles à rebord, reliés au moyen de boulons qui traversent la jante seulement[1].

Nature du métal employé pour les bandages. — On fait les bandages en fer ou en acier. On a quelquefois employé le fer pour la partie intérieure,

[1] Il existe encore un grand nombre d'autres modes de fixation des bandages sur les roues. Un ingénieur allemand, M. Bôte, a publié un travail très complet à cet égard ; on en trouvera la traduction par M. Birkel, ingénieur, dans les numéros de mars et mai 1880 de la *Revue générale des Chemins de fer.*

en réservant l'acier pour la partie soumise au roulement. Cette combinaison, qui ne pouvait être justifiée que par un motif d'économie, n'a plus de raison d'être aux prix actuels de l'acier ; aussi est-elle abandonnée.

Les bandages en acier fondu, à cause de leur grande dureté, tendent de plus en plus à remplacer les bandages en fer, surtout à l'étranger, en Allemagne et en Angleterre principalement. On les emploie aussi en France sur la plupart des réseaux : le Nord, l'Orléans, le Midi, l'Ouest et l'État ont adopté les bandages en acier pour tous leurs véhicules ; l'Est et le P.-L.-M. les ont longtemps réservés pour les wagons à marchandises, en conservant le fer pour les bandages des voitures à voyageurs. Cette distinction paraît provenir de la crainte de voir des bandages en acier exposés à des ruptures, sous l'action prolongée des freins continus dont on se sert dans les trains de voyageurs.

Montage des roues. — Le moyen le plus usité pour caler les roues sur les essieux consiste à introduire de force l'essieu dans le moyeu à la presse hydraulique ; le diamètre du trou du moyeu et celui de la portée de calage diffèrent d'une fraction de millimètre extrêmement petite, qui suffit pour assurer un serrage très énergique. La pression nécessaire pour caler la roue sur son essieu atteint 30 à 40 000 kilogrammes.

La figure 493 représente l'essieu monté des grands réseaux français ; elle indique en même temps les différentes cotes adoptées pour l'écartement des bandages et pour l'écartement intérieur des rails [1].

Dans certains cas on consolide le calage du moyeu à l'aide d'une clavette en acier, qui pénètre d'une certaine quantité dans le corps de l'essieu. Cette pénétration doit être la moindre possible, car on a remarqué que les ruptures d'essieu se produisent le plus souvent au point de la portée du calage qui est diamétralement opposé à la clavette.

Nous donnons plus loin un tableau des dimensions principales des roues employées sur les chemins de fer français, d'après les documents publiés par M. J.-B. Personne dans les articles déjà cités.

Roues équilibrées. — On s'est préoccupé de savoir s'il n'y aurait pas utilité à équilibrer les roues du matériel à voyageurs, dans le but d'obtenir un roulement plus régulier. La question a été traitée par le Congrès international des chemins de fer en 1807 dans sa réunion de Milan. Voici comment il s'est exprimé à ce sujet [2] :

Les principales causes de perturbations produites dans le mouvement rapide de rotation des roues, perturbations dont les effets se font sentir d'une manière désagréable aux voyageurs, sont les suivantes :

[1] Les chiffres indiqués pour l'écartement des rails ont été légèrement modifiés sur certains réseaux, ainsi que nous l'avons indiqué dans une annexe du tome I.

[2] *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1887.

1° Le faux rond, ou l'excentration du cercle de roulement de la roue, qu'il faut éviter par un tournage très soigné du bandage, et par des vérifications minutieuses, au point de vue de la parfaite régularité de forme et de figure, non seulement de chaque roue isolée, mais aussi de l'ensemble du système de l'essieu monté de ses deux roues.

2° Une différence dans la répartition des éléments de la masse tournante constituant la roue elle-même, différence de répartition qui, sous l'action d'une rotation rapide, produit une sorte de mouvement de galop dû à l'excentration, non plus de la figure, mais de la masse ; ce mouvement se transmet aux boîtes à graisse, aux plaques de garde et jusqu'au corps de la voiture, malgré une certaine atténuation due à l'interposition des ressorts. Cette excentration de masse est ce qu'on appelle le *balourd* des roues. On se rend compte de son importance en faisant tourner la roue sur son centre. Pour que la roue soit exempte de balourd, l'équilibre, dans le mouvement de rotation, doit être pour ainsi dire indifférent.

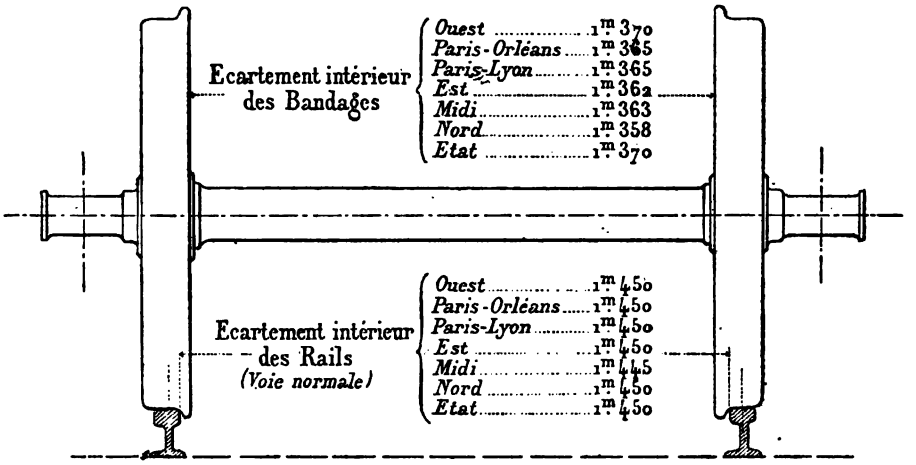


Fig. 493. — Essieu monté des grands réseaux français.

3° L'absence d'équilibre entre les deux éléments du couple des roues montées sur un essieu. Cette inégalité dans le poids des deux masses tournantes placées aux extrémités d'un même essieu produit, pendant la marche, non plus un mouvement de galop, mais un mouvement de lacet, qui se traduit également par des petits chocs multipliés, des trépidations, des vibrations désagréables pour les voyageurs.

Les moyens employés aujourd'hui par plusieurs compagnies françaises permettent de faire disparaître les mouvements qui viennent d'être signalés.

Ces inconvénients avaient été souvent signalés ; mais l'équilibrage des roues est plus facile à obtenir avec les roues à centre plein qu'avec les roues à rais employées à l'origine des chemins de fer et dont la construction même rendait difficile la correction des défauts de figure ou de poids.

Avec les roues pleines, dont on se sert beaucoup maintenant, il est facile d'enlever ou d'ajouter de la matière aux points voulus, de manière à obtenir un résultat parfait ; on y est arrivé en prescrivant aux constructeurs des conditions assez rigoureuses, et en corrigeant par des moyens très simples les imperfections reconnues ; on a ainsi obtenu un roulement parfait des roues, dont l'expérience a démontré l'excellent effet.

Ces irrégularités dans la forme et dans la répartition des masses ne se rencontrent pas dans les roues composées d'éléments absolument identiques, comme les roues à centre en bois, dites *Mansell*, ou les roues à centre en papier comprimé ; ni dans les roues obtenues par moulage d'une seule pièce, comme le sont les roues en fonte et en acier coulé, employées en Amérique et ailleurs. Pour ce genre de roues, l'utilité de l'emploi des appa-

DIMENSIONS PRINCIPALES DES ROUES (Chemins de fer français).

DÉSIGNATION des lignes et types des roues.	CORPS DES ROUES					BANDAGES					ROUES MONTÉES					
	Type et nature du centre.	Diamètre à la jante.	Largeur de la jante.	Longueur du moyeu.	Poids d'un centre.	Épaisseur (au cercle du roulement).	Largeur du bandage.	Saillie du boudin sur la table de roulement.	Nature du métal.	Poids d'un bandage.	Diamètre au roulement.	Écartement des fusées (d'axe à axe).	Écartement intérieur des bandages.	Mode d'attache des bandages sur les centres.	Calage de la roue sur l'essieu (avec ou sans clavette)	Poids moyen d'une roue montée.
		m.	m.	m.	kg.	m.	m.	m.		kg.	m.	m.	m.			kg.
Nord.																
Wagons	Moyeu en fonte. Rais en fer.	0,825	0,080	0,175	145						0,935	1,907	1,358	Vis.	Avec clavette.	850
Voitures et fourgons	Centre plein en fer.	0,825	0,090	0,150	130	0,055	0,135	0,025	Acier.	190	0,935	1,907	1,358	Vis.	Avec clavette.	820
Voitures de 1re classe à 4 compartiments	Centre plein en fer.	0,825	0,100	0,150	155						0,935	1,920	1,358	Vis.	Avec clavette.	910
Est.																
Voitures et wagons ordinaires	Centres Arbel, District, etc. Rais et moyeu en fer.	0,920	0,100	0,170	190											1 010
Voitures de 1re classe à lits. Wagons de 12 tonnes		0,920	0,100	0,170	190	0,060	0,135	0,027	Fer pour voitures, acier pour wagons.	210	1,040	1,940	1,362	Boulons à tête conique.	Sans clavette.	1 050
Ouest.																
Wagons 16 t. maximum en charge.	Moyeu en fonte. Rais en fer.	0,920	0,075	0,170	150						1,030	1,920	1,370	Rivets	Avec clavette.	855
Wagons 16 t. minimum en charge.	Arbel.	0,920	0,100	0,170	150						1,030	1,920	1,370	Rivets	Avec clavette.	915

Voitures et fourgons. .	droit ou ondulé (fer).	0,920	0,100	0,160	172						1,030	1,920	1,370	à tête cylindrique.	Avec clavette.	900
Voitures de 1re classe à 2 coupés et à 4 compartiments.	Centre plein ondulé (fer).	0,920	0,100	0,170	195						1,030	1,920	1,370	Boulons à tête cylindrique.	Avec clavette.	1 010
P.-L.-M.																
Voitures et wagons ordinaires, voitures-salons et fourgons. . .	Arbel.	0,820	0,100	0,180	140	0,055	0,130	0,030	Fer pour voitures, acier pour wagons.	192	0,930	1,025	1,365	Rivets	Avec clavette.	840 et 930
Voitures-salons, coupés-lits et à 4 compartiments												2,000	1,365			940
Orléans.																
Wagons et voitures ordinaires	Arbel pour wagons. Centre plein en fer pour voitures.	0.920	0,100	0,150	175	0,060	0,130	0,030	Acier.	210	1,040	1,920	1,365	Rivets	Avec clavette.	965
Voitures de 1re classe à 4 compartiments et à lits-toilette. . . .	Centre plein en fer.	0,920	0,114	0,150	180	0,060	0,130	0,030	Acier.	220	1,040	1,940	1,365	Vis à l'intérieur (bandage à agrafe simple)		1 020
		0,900	0,110	0,150	225	0,070	0,130	0,030	Acier.	240	1,040	1,940	1,365	2 cercles de retenue avec boulons sur la jante (bandage à agrafe double).	Sans clavette.	1 150
Fourgons à grande vitesse.	Centre plein en fer.	0.900	0,110	0,150	225	0,070	0,130	0,030	Acier.	240	1,040	1,940	1,365			1 185
État.																
Wagons	Arbel.	0,920	0,090	0,170	150						1,040	1,920	1,370	Rivets	Sans clavette.	930
Voitures et fourgons. Wagons-écuries et à marée	Centre plein ondulé en fer.	0,920	0,100	0,170	192	0,060	0,130	0,030	Acier.	210	1,040	1,920	1,370	Rivets	Sans clavette.	1 015

reils de correction est beaucoup moindre, et ce fait est un de ceux qui expliquent l'excellent roulement des voitures anglaises à deux essieux qui, depuis de longues années, sont exclusivement munies de roues à centre en bois.

Malheureusement l'emploi, tous les jours plus répandu, des freins continus a eu pour résultat de rendre plus incertain le service des roues à centre en bois ou en papier, à cause des dangers de dislocation de leurs éléments constitutifs; cette dislocation se produit nécessairement sous l'action puissante et réitérée des sabots de freins et, sur plusieurs réseaux, on a dû les proscrire dans la construction des voitures à freins.

En résumé, le Congrès, s'est prononcé pour l'utilité de l'équilibrage des roues des voitures à voyageurs, en vue d'obtenir un bon roulement de ces voitures.

§ 7. — APPAREILS D'ATTELAGE

Les véhicules d'un train se transmettent les uns aux autres des efforts de traction ou de compression.

Ainsi, au moment du démarrage et pendant la marche, chaque véhicule exerce sur le suivant un effort de traction, tant que la machine exerce elle-même un effort pour la marche en avant. Au contraire, en cas de ralentissement, il y a compression de chaque wagon sur celui qui le suit. Les appareils employés pour réunir les véhicules les uns aux autres servent, les uns à transmettre les premiers efforts : ce sont les *appareils de traction;* les autres à recevoir les pressions ou les chocs ; ce sont les *appareils de choc.* Les efforts qu'il s'agit de transmettre pouvant être assez violents, notamment au démarrage ou en cas de ralentissement brusque, il est nécessaire, au point de vue de la commodité des voyageurs et de la conservation du matériel, qu'ils soient amortis par l'intermédiaire de ressorts. Ces ressorts sont d'ailleurs appliqués aussi bien aux wagons des marchandises qu'aux voitures à voyageurs ; seulement, pour les wagons, les appareils sont moins complets que pour les voitures.

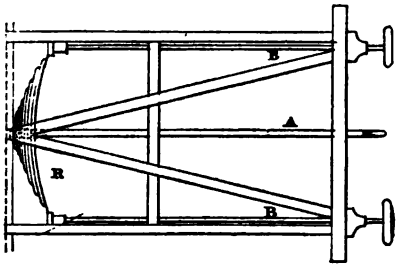


Fig. 494. — Demi-plan d'un châssis montrant le système de l'attelage.

La figure 494 représente sommairement la disposition la plus usitée pour les appareils de traction et de choc, disposition qui se trouve également reproduite sur la figure 435 (voy. plus haut).

De chaque côté de l'axe transversal du wagon, une barre de traction ou d'attelage, A, est fixée au sommet d'un ressort R; deux barres de choc B, viennent s'appuyer sur les extrémités de ce même ressort. Les deux ressorts correspondant à chaque moitié du wagon se trouvent ainsi dos à dos,

séparés par une traverse intermédiaire du châssis, contre laquelle ils viennent s'appuyer en cas de choc. A leurs extrémités, ces ressorts sont terminés par une partie plate qui vient buter contre un tasseau fixé au longeron du châssis. Les barres de choc, B, traversent les tasseaux pour venir s'appuyer contre les extrémités des ressorts.

De cette manière, quand un effort de traction s'exerce sur la barre A,

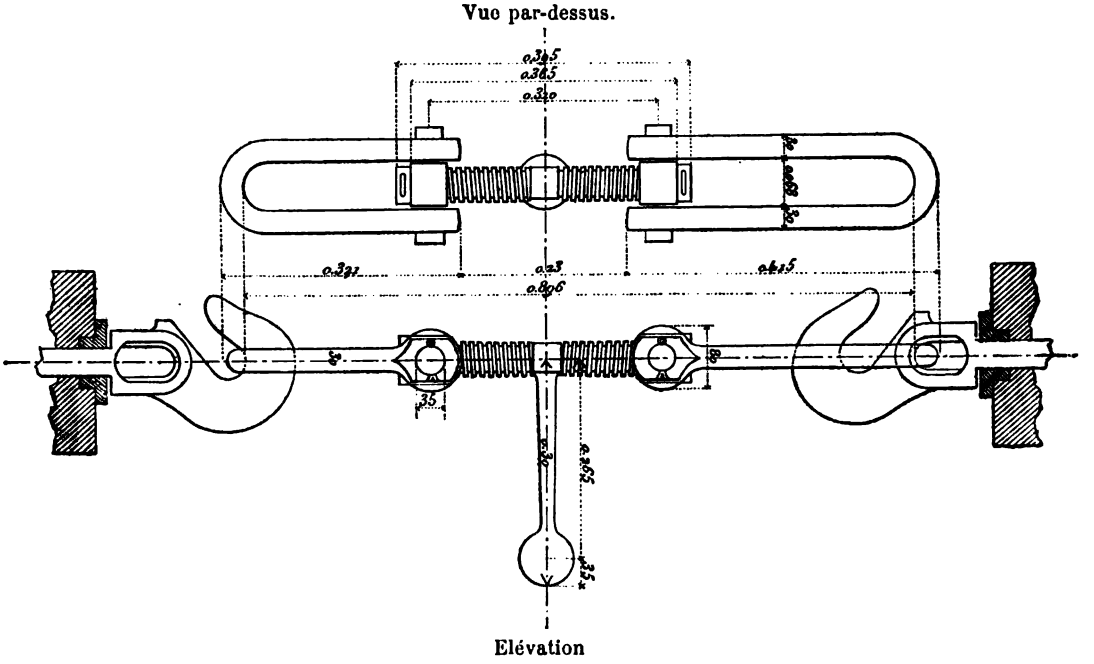


Fig. 495. — Tendeur d'attelage (Bourbonnais). Echelle de 0,10 m. par mètre.

elle tend le ressort R qui, appuyant par ses deux extrémités sur les tasseaux des longerons, transmet au châssis, dans le sens convenable et avec l'atténuation qui résulte de l'interposition d'un corps élastique, l'effort qui lui est appliqué. Au contraire, en cas de compression, les barres de choc B pressent les extrémités du ressort de manière à l'aplatir et à faire porter son sommet contre la traverse du châssis, de sorte que l'effort est encore transmis à ce dernier dans le sens voulu.

La course des barres de traction et de choc est d'ailleurs limitée par des taquets d'arrêt, de manière à ne pas imposer aux ressorts des efforts qui dépasseraient la limite de leur élasticité.

Les barres de traction des deux véhicules consécutifs sont réunies au moyen de crochets, ou *manilles d'attelage*, et ces deux manilles sont elles-mêmes serrées au moyen d'une vis, qu'on appelle le *tendeur*, comme le montre la figure 495.

Quant aux barres de choc, elles sont terminées par des tampons, qui sont

mis en contact avec ceux du véhicule voisin au moyen d'un serrage convenable du tendeur à vis.

Il importe qu'au moment du départ des trains tous les tampons soient au contact et qu'ils exercent les uns sur les autres une certaine pression ; on réalise ainsi entre les wagons une solidarité dans le sens transversal, qui a pour résultat de diminuer beaucoup le mouvement de lacet que prennent les véhicules dans la circulation à grande vitesse.

Enfin, la liaison de deux voitures consécutives est complétée par des chaînes, dites de sûreté, qui sont fixées au châssis au niveau des crochets d'attelage et qui ont pour objet de remplacer l'attelage principal, dans le cas où une de ces pièces viendrait à se rompre (fig. 496). Ces chaînes, généralement au nombre de deux à chaque extrémité du châssis, sont terminées à leur partie inférieure par des crochets, qu'on passe dans ceux des chaînes du véhicule voisin.

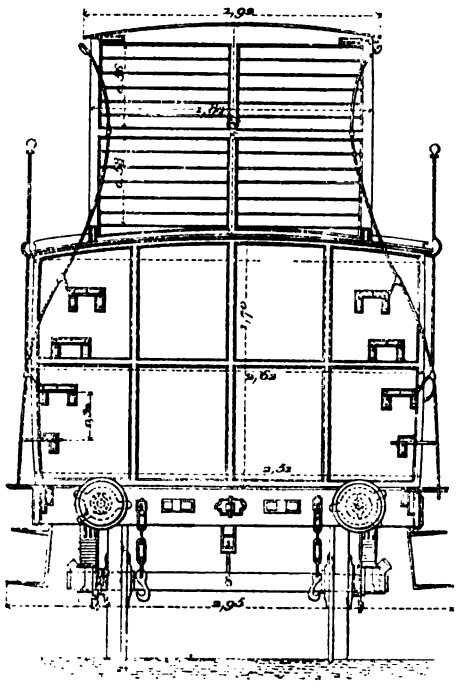


Fig. 496. — Voiture de 2e classe à impériale. (Ouest français.)

Ces chaînes, dites de sûreté, ne remplissent pas toujours l'objet en vue duquel elles sont établies. Malgré les fortes dimensions qu'on leur donne, pour leur permettre de résister au choc violent qui se produit en cas de rupture de l'attelage, il arrive quelquefois qu'elles se rompent elles-mêmes, surtout lorsqu'elles ne viennent en prise que successivement, ce qui peut se produire, dans le cas de rupture des attelages d'un train parcourant en rampe une courbe prononcée.

Sous ce rapport, les chaînes représentées par la figure 496 sont placées trop près des tampons ; il vaut mieux les rapprocher de la barre d'attelage, de manière à diminuer l'obliquité de la traction lorsque l'une des deux chaînes résiste seule, l'autre s'étant rompue.

Ces chaînes offrent également moins de chances de rupture, lorsque l'effort qu'elles exercent sur les châssis se trouve amorti par l'interposition de ressorts en acier ou de rondelles en caoutchouc, comme sur les chemins de fer de l'État hongrois (fig. 497). Les rondelles de caoutchouc *rr* ont une section ovale ; elles sont séparées par une plaque de fonte. L'épaisseur

des rondelles libres est de 0,040 m. ; elle se trouve réduite à 0,033 m. sous la pression de l'écrou qui termine le boulon d'attache.

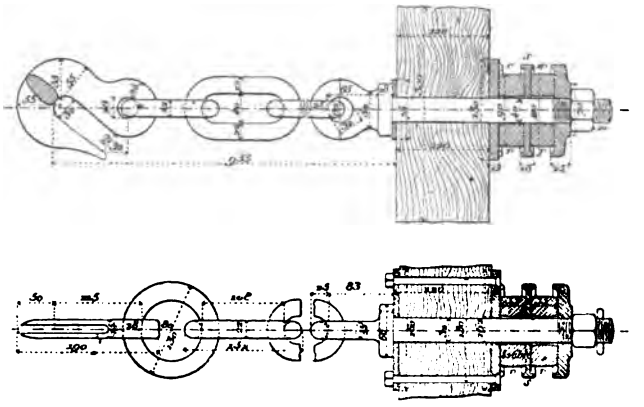


Fig. 497. — Chaînes de sûreté (Hongrie).

La disposition représentée par la figure 494 n'est pas la seule employée pour les appareils de choc et de traction. Sans sortir des réseaux français, on trouve dans les différents véhicules de chemins de fer trois dispositions principales de ces appareils, savoir [1] :

1° Des appareils à ressorts indépendants et spéciaux pour le choc et pour la traction :

2° Des appareils à ressort uniques, conjugés par la traction ;

3° Des appareils à ressorts uniques, non conjugués.

Les premiers sont employés par les compagnies d'Orléans, de P.-L.-M., de l'Est et du Midi. De chaque côté de l'axe transversal des véhicules, il y a un ressort pour le choc et pour la traction, et aucune liaison n'existe entre les ressorts des deux moitiés de la voiture.

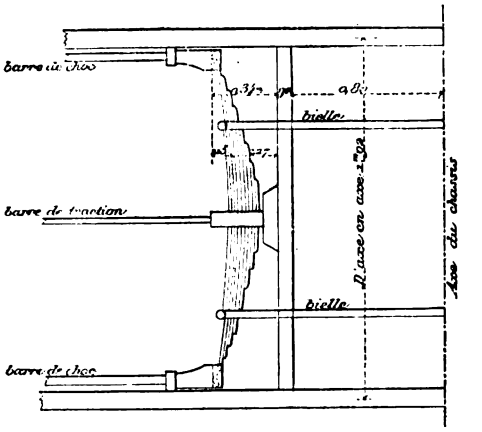


Fig. 498. — Appareil de choc et de traction. Ouest français (Voitures de 1re classe à quatre compartiments).

C'est dans ce système que sont construites les voitures de la compagnie d'Orléans, dont le châssis a 9 mètres de longueur, qui faisaient le service des trains rapides de Paris à Bordeaux, avant l'adoption des grandes voitures à bogie de 20 mètres de longueur.

Le second système est employé par les compagnies de l'Ouest, du Nord

[1] Notes sur la construction des voitures et wagons de chemins de fer, par M. J.-B. Personne; *Revue générale*, août 1880.

et du Midi ; un seul ressort existe de part et d'autre de l'axe transversal du wagon pour le choc et pour la traction, mais les deux ressorts du wagon sont réunis par deux bielles de connexion, qui ont pour but de diminuer notablement la flexibilité de ces ressorts à la traction, en réduisant leur corde à la longueur comprise entre les deux bielles (fig. 498).

Réunis de cette manière, les deux ressorts forment avec la barre de traction un ensemble continu et élastique qui, par serrage convenable des attelages, permet à l'effort de traction de s'exercer d'un bout à l'autre du train, sans passer par l'intermédiaire des longerons.

Enfin dans le troisième système, qui est celui que représente la figure 494, un ressort unique sert pour le choc et la traction ; les deux ressorts correspondant à chaque moitié du wagon peuvent d'ailleurs être placés soit au centre, soit aux extrémités des châssis, de manière à diminuer la longueur des barres de traction et de choc.

Quel que soit le système employé, le serrage des tampons de deux véhicules consécutifs s'obtient d'abord en donnant aux ressorts, au moment de leur mise en place, une certaine tension ou *bande initiale*. Cette tension est ensuite dépassée d'une certaine quantité par la pression que développe le tendeur à vis, au moment de l'attelage des véhicules ; on a ainsi ce qu'on appelle la *bande d'attelage*, qui crée dans le train une résistance suffisante pour atténuer les mouvements de lacet et les trépidations des véhicules en marche.

Autrefois, pour les voitures à voyageurs, la bande initiale des ressorts à choc ne dépassait guère 600 kilogrammes sur l'Ouest ; elle atteignait 1 500 kilogrammes pour le choc et 1 000 kilogrammes pour la traction sur l'Orléans. Par suite de l'organisation de nombreux trains rapides sur les réseaux français, il a été nécessaire d'augmenter la résistance au mouvement de lacet, qui a de plus grandes tendances à se produire aux vitesses élevées, et on a obtenu ce supplément de résistance en augmentant la tension des ressorts dans une notable proportion. Cette tension a été portée à des chiffres variant de 1 200 à 2 100 kilogrammes et même 2 600 kilogrammes (Midi et État) pour la bande initiale des ressorts de choc et de traction. Quant à la bande d'attelage, elle atteint environ 2 400 kilogrammes, sans descendre au-dessous de 2 100 kilogrammes. Enfin la résistance totale à la traction varie de 4 400 à 5 300 kilogrammes, permettant ainsi très largement de réaliser les efforts de traction qui sont nécessaires pour la remorque des trains[1].

La compression imposée aux tampons de l'attelage donne, il est vrai, une plus grande résistance des trains au démarrage ; mais cela est sans inconvénient avec les machines puissantes qu'on emploie aujourd'hui et on

[1] Voir plus loin : *Traction*.

CONDITIONS PRINCIPALES D'ÉTABLISSEMENT DES APPAREILS DE CHOC ET DE TRACTION DES VOITURES ET WAGONS DES CHEMINS DE FER FRANÇAIS

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT	VOITURES A VOYAGEURS									WAGONS A MARCHANDISES						OBSERVATIONS
	RESSORTS INDÉPENDANTS ET SPÉCIAUX pour le choc et la traction.					RESSORTS UNIQUES Conjugués par la traction.			Communs au choc et à la traction.	RESSORTS INDÉPENDANTS ET SPÉCIAUX pour le choc et la traction.			RESSORTS UNIQUES Conjugués pour la traction	Communs au choc et à la traction.		
	Orléans.	P-L-M	Est.	Midi.	État.	Ouest.	Nord.	Midi.	Charentes (auj. Etat).	Orléans.	Nord.	Midi.	Ouest.	Est.	P-L-M	
Hauteur de la barre de traction et des tampons (à vide)	m. 1,080	m. 1,020	m. 1,050	m. 1,070	m. 1,030	m. 1,029	m. 1,000	m. 1,070	m. 1,025	m. 1,050	m. 1,000	m. 1,070	m. 1,020	m. 1,060	m. 1,000	
Ecartement des tampons (d'axe en axe)	1,740	1,710	1,710	1,727	1,730	1,730	1,727	1,027	1 739	1,740	1,727	1,727	1,730	1,710	1,710	
Ecartement des chaînes de sûreté (d'axe en axe)	1,100	0,500	0,640	1,150	0,700	0,180	1,190	1,150	0,700	1,100	0,600	1,150	1,180	0,640	0,500	(1) Ce diamètre remplace celui de 0,040 appliqué aux vis des anciens tendeurs encore en usage dans une grande partie du matériel de l'Est.
Saillie des tampons sur l'intérieur des crochets de traction	0,350	0,410	0,325	0,368	0,322	0,340	0,318	0,363	0,310	0,350	0,223	0,333	0,310	0,305	0,305	
Tendeurs.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	
Diamètre extérieur de la vis	0,040	0,040	(1) 0,048	0,040	0,040	0,038	0,035	0 040	0,040	0,040	0,035	0,040	0,038	(1) 0,048	0,040	(2) Les ressorts sont réunis au moyen de 2 tringles formant barre de traction continue.
Pas de la vis	0,006	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	
Longueur totale du levier	0,550	0,400	0,550	0.400	0,550	0,485	0,360	0,400	0,300	0,300	0,280	0,270	0,300	0,390	0,250	
Ressorts de choc.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	(3) Ressorts conjugués au moyen de bielles de connexion.
Poids	102	106	98	97	98	85	98	120	82	15	6.5	27	84	102	106	
Bande initiale	2 435	1 200	1 600	2 400	2 000	2 060	500	800	800	1 000	10mm	800	1 050	1 500	1 500	
Bande d'attelage	2 435	2 100	2 200	2 400	»	2 400	»	»	»	»	»	»	»	»	»	(4) Ressorts spéciaux de traction conjugués et réunis dans un seul collier avec les ressorts de choc.
Résistance totale au choc	5 200	6 200	3 780	5 000	4 700	3 600	5 700	4 200	3 600	4 500	3 500	6 000	4 600	6 370	6 000	
Course totale des tampons	m. 0,200	m. 0,200	m. 0,183	m. 0,260	m. 0,180	m. 0,115	m. 0,210	m. 0,250	m. 0,200	m. 0,075	m. 0,070	m. 0,072	m. 0,155	m. 0,150	m. 0,160	
Flexibilité par tonne	0,071	0,050	0,084	0,072	0,067	0,075	0,040	0,082	0,070	»	»	0,0115	0,045	0,0308	0,9366	(5) Bande initiale portée maintenant à 2 600 kg.
Ressorts de traction.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	
Poids	20	40	(2) 22	22	24	(3) »	(4) »	(4) »	82	35	(6) 6,25	27	(3) »	102	106	(6) Les ressorts sont unis par une tige mobile formant barre de traction continue.
Bande initiale	(5) 2 400	1 200	1 600	2 000	2 600	»	»	2 600	800	1 000	10mm	2 200	»	1 500	1 500	
Bande d'attelage	2 435	2 100	2 200	2 400	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
Résistance totale à la traction	4 400	6 000	3 170	4 800	5 300	4 860	»	»	1 800	8 000	»	6 600	5 150	6 370	4 500	
Course totale à la traction	m. 0,040	m. 0,048	m. 0,045	m. 0,050	m. 0,040	m. 0,035	m. non limitée	m non limitée	m. 0,070	m. 0,070	m. 0,030	m. 0,050	m. 0,050	m. 0,085	m. 0,110	
Flexibilité par tonne	0,019	0,010	0,0287	0,018	0,015	0,0125	0,007	0,034	»	0,010	»	0,011	0,012	»	»	

a a insi le grand avantage d'augmenter beaucoup la stabilité des différents véhicules du train.

Le tableau ci-dessus reproduit, d'après les documents publiés par M. J.-B. Personne, les principaux éléments des appareils de choc et de traction des chemins de fer français.

On voit, à l'inspection de ce tableau, que les ressorts à feuilles étagées dont nous avons parlé ne sont pas les seuls employés sur nos chemins de

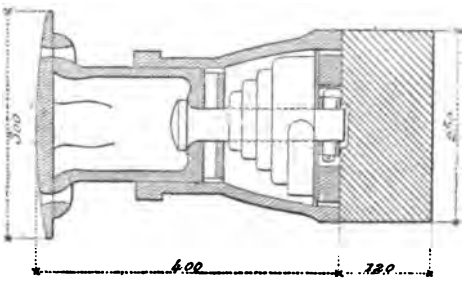


Fig. 499. — Wagon couvert à portes roulantes (compagnie du Nord). Tampon de choc.

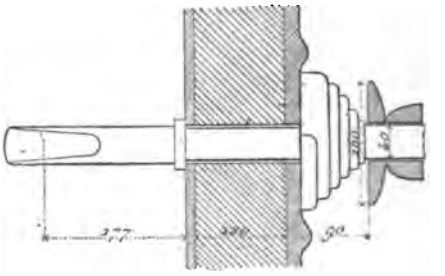


Fig. 500. — Wagon couvert à portes roulantes (compagnie du Nord). Barre de traction.

fer. Les compagnies du Nord et de l'Orléans se servent également, soit pour le choc, soit pour la traction, dans leur matériel à marchandises, de ressorts en spirales représentés par les figures 499, 500 et 501.

La compagnie du Midi emploie pour les ressorts de choc de ses wagons plats des rondelles en acier du système Belleville (fig. 502).

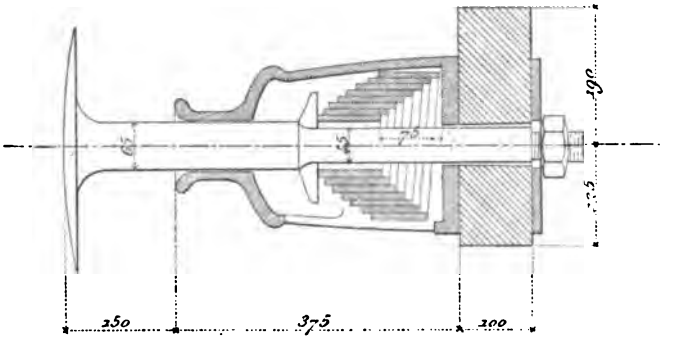


Fig. 501. — Tampon de choc pour wagon plat (compagnie d'Orléans).

Ces appareils sont moins lourds et moins chers que ceux que nous avons décrits d'abord; ils conviennent fort bien au matériel à marchandises, qui n'exige pas des attelages aussi perfectionnés que le matériel à voyageurs.

On emploie aussi, en France et à l'étranger, des ressorts formés d'un certain nombre de rondelles en caoutchouc vulcanisé, qui s'élargissent et s'amincissent sous la pression; ces rondelles sont ordinairement séparées par des

disques en métal, qui les empêchent de chevaucher les unes sur les autres. Dans le ressort de M. *Spencer* (fig. 503) les rondelles sont biconiques et les

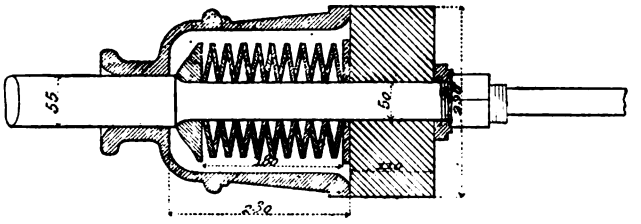


Fig. 502. — Tampon de choc pour wagon plat (compagnie du Midi).

disques métalliques, à section en T, sont appliqués sur leur pourtour ; ces disques limitent par conséquent l'extension latérale des rondelles sous l'effet de la compression.

Les tampons de choc se faisaient autrefois au moyen d'un disque en fer

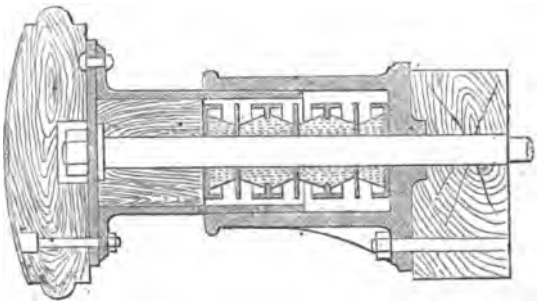


Fig. 503. — Ressort de choc. Système Spencer. Chemin de la Theiss.

recouvert d'une garniture en bois ; aujourd'hui on les fait généralement en fer. Sur la plupart des réseaux, les deux tampons situés à l'extrémité d'un même véhicule présentent l'un une surface bombée, l'autre une surface plane et, au moment de l'attelage, un tampon bombé est toujours mis en contact avec un tampon plat du véhicule voisin. Cette précaution est prise pour que dans la circulation en courbe, le contact des tampons ait toujours lieu en un point rapproché de leur axe. Elle ne semble pas, au surplus, avoir une importance considérable sur les grandes lignes ; les compagnies de l'Est et de l'Orléans y ont renoncé il y a assez longtemps et n'emploient plus que des tampons plats.

Attelage de l'Union des chemins de fer allemands. — On voit par ce qui précède, qu'une assez grande variété existe en France au sujet des appareils d'attelage. En Allemagne, les différentes administrations qui font partie de l'Union (Verein) se sont mises d'accord pour obtenir, sur ce point comme sur beaucoup d'autres, une uniformité très désirable au point de vue de la circulation du matériel sur les différentes lignes de l'Union.

Voici les conventions arrêtées dans l'assemblée tenue à Gratz les 19 et 20 mai 1882 :

La distance horizontale d'axe en axe des tampons doit être de 1,750 m.

La hauteur normale du centre des tampons au-dessus du sommet des rails est de 1,04 m. avec une tolérance de 0,025 m. au-dessus pour les wagons vides et de 0,100 m. au-dessous pour les véhicules à pleine charge.

Si les tampons sont comprimés à fond, la distance de la surface extérieure du disque à la traverse de tête du châssis doit être d'au moins 0,370 m.

Vu de l'intérieur du véhicule, le disque du tampon à gauche doit être plat et celui du tampon à droite bombé.

Les disques des tampons doivent avoir 340 millimètres au moins de diamètre, et la flèche des plateaux bombés doit être de 25 millimètres au centre.

L'appareil de traction doit être construit de manière à pouvoir sortir de la traverse de tête de 50 millimètres au moins et de 150 millimètres au plus.

Le point d'attaque du crochet de traction non tendu doit être distant de 370 millimètres au moins de la surface de choc extérieure des tampons.

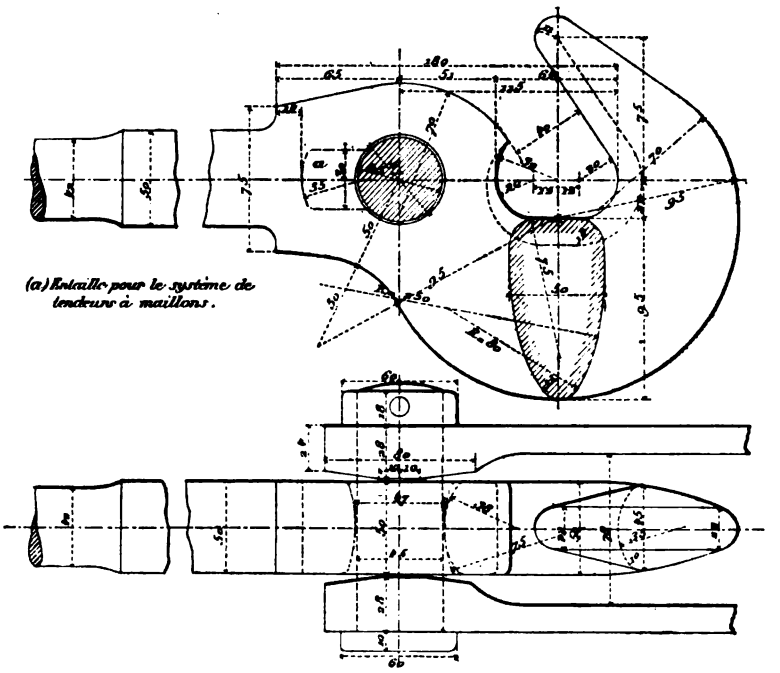


Fig. 504. — Crochet de traction (Union des chemins de fer allemands) (Echelle $\frac{1}{4}$).

(La plupart des dispositions qui précèdent sont prises pour empêcher qu'un ouvrier, chargé d'accoupler deux véhicules, risque d'être écrasé entre les traverses ou les crochets de traction.)

L'Union a également arrêté :

1° Un type de crochet de traction qui doit être appliqué à tout le matériel neuf à construire ; il est représenté par la figure 504 ;

2° Les dispositions de l'attelage avec tendeur à vis qui s'appliquent également à tout le matériel roulant (fig. 505) ;

3° Celles qu'il y a lieu d'adopter pour l'accouplement double des wagons, établi de manière qu'ils ne puissent se séparer lorsque l'attelage principal vient à se rompre. (La figure 506 reproduit ces dispositions.)

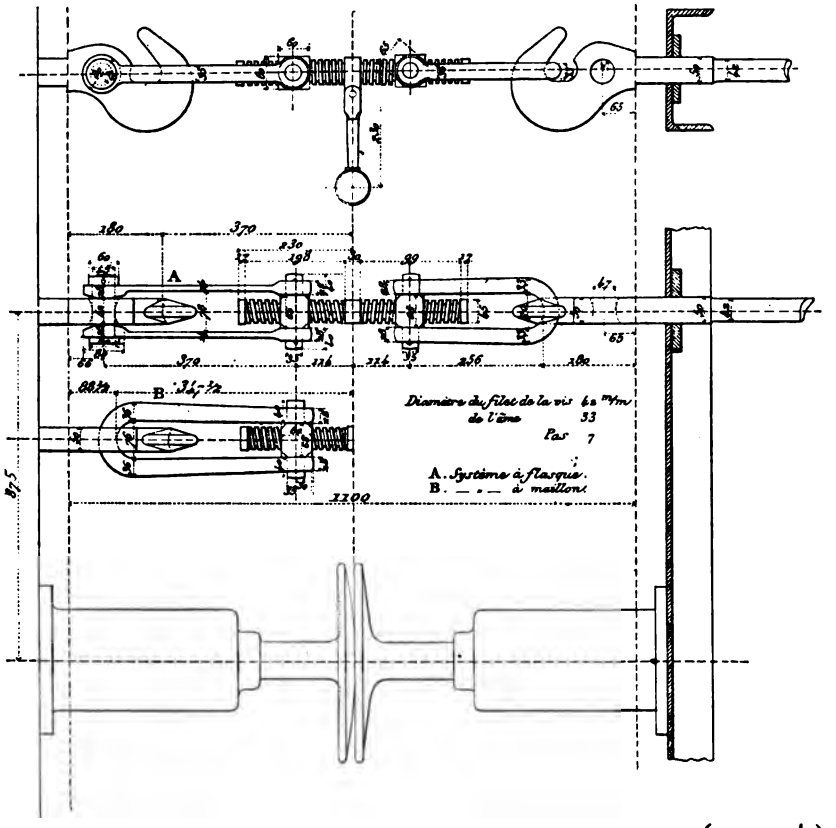


Fig. 505. — Attelage à vis. Type de l'Union des chemins de fer allemands (Échelle $\frac{1}{15}$).

Enfin, les attelages des véhicules doivent se trouver dans le même plan horizontal avec les crochets de traction et les tampons ; en outre, quand les attelages ne sont pas accrochés, ils doivent rester au moins à 75 millimètres au-dessus du sommet des rails, même quand le véhicule est en pleine charge.

Attelages américains. — Ce qui caractérise spécialement l'attelage américain, c'est qu'il est toujours central, c'est-à-dire placé au milieu de la traverse de tête des véhicules et muni d'un coupleur automatique. Cette position centrale de l'attelage était d'ailleurs en quelque sorte commandée par le matériel, formé de wagons de 15 à 16 mètres de longueur, appelés à circuler dans des courbes bien plus raides que celles des chemins de fer européens.

Elle n'est pas d'ailleurs sans présenter certaines difficultés pour la construction ; on s'en rendra compte si l'on remarque qu'en 1 882, il avait été délivré déjà plus de 1 700 brevets, rien que pour les attelages des wagons à marchandises [1].

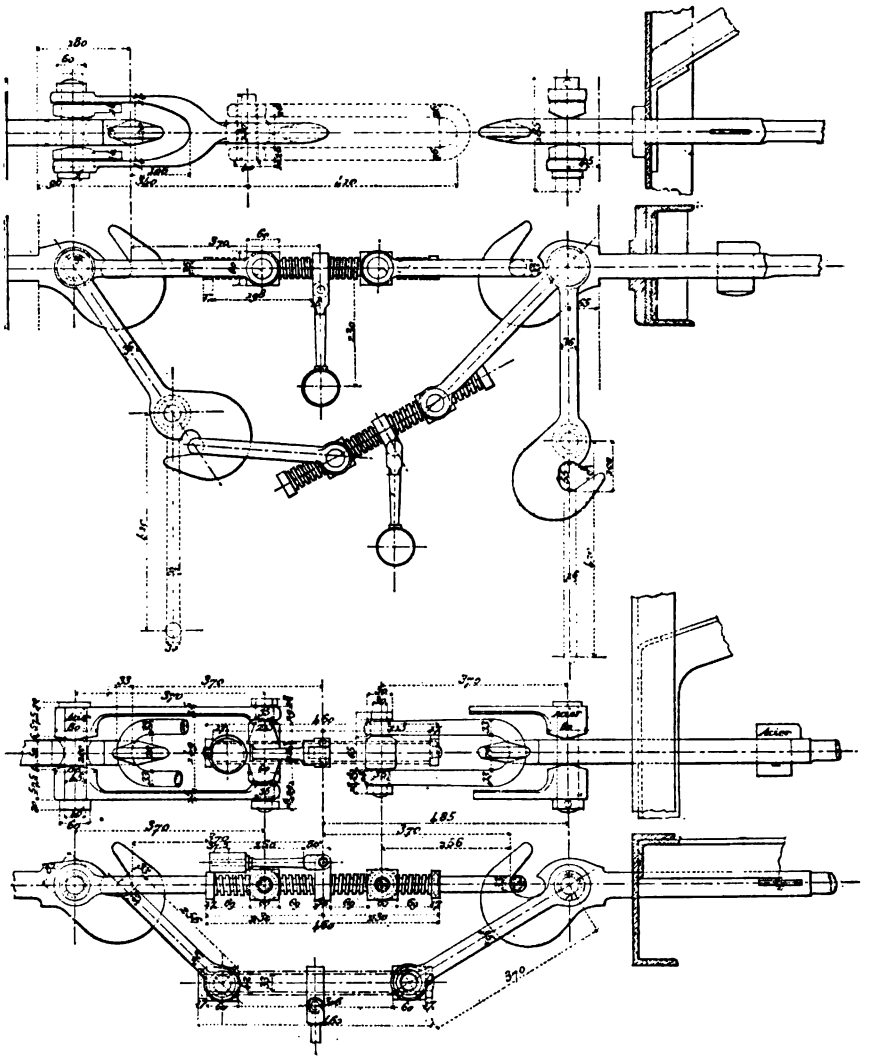


Fig. 506. — Accouplement double des wagons : Union des chemins de fer allemands. (Echelle $\frac{1}{15}$).

Dans son état actuel, l'attelage comprend deux parties : la première est le coupleur automatique, qui sert à la fois d'attelage et de tampon ; la seconde, qui forme à proprement parler la barre de traction, constitue l'in-

[1] Lavoinne et Pontzen. *Les Chemins de fer en Amérique*, t. II.

termédiaire élastique destiné à transmettre au châssis les efforts que supporte le coupleur[1].

Le coupleur automatique, qui est aujourd'hui d'un type uniforme, est représenté par la figure 507.

En Amérique, l'attelage automatique des wagons est entré, depuis fort longtemps, dans la pratique courante des réseaux. Depuis l'adoption en 1891 du *bill* dit « loi des moyens de sécurité », loi promulguée en 1893, son emploi est devenu obligatoire pour tous les véhicules neufs des compagnies. Le type imposé par la loi est celui, dit en plan vertical, de la *Master Car Builders' Association*.

Fig. 507. — Attelage automatique américain (d'après M. Sauvage).

En outre, depuis le 1er aout 1900, aucun wagon non muni de ce système d'attelage ne peut plus être employé dans le *trafic entre* les Etats.

L'adoption d'un attelage de ce genre était d'ailleurs particulièrement indiquée en Amérique, en raison du système fort grossier qui avait été employé à l'origine des chemins de fer pour l'accouplement des véhicules et qui consistait simplement en un attelage à maille et à pivot, formé d'une barre fixée à un des abouts du véhicule et présentant à son extrémité extérieure une ouverture destinée à recevoir une maille retenue par un pivot vertical passant dans un trou pratiqué dans l'extrémité de la barre de traction. Les dangers que présentait l'accrochage des véhicules, avec un pareil système, étaient tels que la nécessité de le perfectionner n'a pas manqué de se faire rapidement sentir et qu'on a été ainsi conduit peu à peu à l'adoption de l'attelage automatique actuel, dans lequel le principe du système de l'attelage a été maintenu, mais en permettant à l'accrochage de se faire automatiquement, grâce à la présence d'une articulation à ressort et d'un taquet qui assurent la liaison de deux véhicules [2].

Quant à l'appareil du choc et de traction, il est constitué par un ou

[1] M. Japiot. Les chemins de fer américains. *Annales des Mines*, 2e semestre 1906 et 1er semestre 1907.

[2] Voir à ce sujet le Bulletin du congrès international des chemins de fer (février 1905) qui contient une étude très complète du coupleur américain et de ses perfectionnements successifs.

plusieurs ressorts compris entre deux plaques mobiles, dont l'une sert à transmettre les efforts de traction et l'autre ceux de refoulement. Ces plaques sont reliées au coupleur dont elles suivent les mouvements et elles transmettent les efforts au véhicule par l'intermédiaire de butées fixées sur le châssis.

Essais d'attelages automatiques en Europe. — Les manœuvres d'attelage et de décrochage de wagons du matériel européen doivent toujours se faire lorsque les véhicules sont complètement arrêtés. Elles présentent, en effet, un certain danger pour les agents chargés de les exécuter, lorsque ceux-ci doivent s'introduire entre les extrémités des véhicules en marche. Pour éviter ces dangers et les accidents qui en sont la conséquence, on a cherché depuis longtemps à faire les manœuvres au moyen d'appareils permettant d'agir de l'extérieur.

Des essais de diverses natures ont été faits pour trouver une solution satisfaisante du problème par l'adoption d'un attelage automatique; mais malgré les résultats déjà obtenus à ce point de vue, la question n'est pas entièrement résolue. Elle présente d'ailleurs des difficultés spéciales, en raison de la nécessité de constituer cet attelage de manière qu'il puisse s'accoupler avec l'attelage européen actuel. On trouvera cette question traitée d'une manière fort complète dans les rapports publiés à l'occasion du Congrès international des Chemins de fer de Washington. (Bulletin du Congrès, septembre et octobre 1904.)

Nous signalerons seulement d'une manière particulière l'attelage automatique imaginé par M. Boirault, ancien ingénieur aux chemins de fer de l'État, attelage qui a été spécialement étudié en vue de pouvoir s'adapter aux wagons européens, quels qu'ils soient, sans avoir rien à changer dans leur système de construction. Cet attelage, dont une description complète figure au Bulletin du Congrès (juillet 1906), a fait l'objet d'un examen approfondi de la part du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer et une circulaire ministérielle a invité les Compagnies à faire des essais en grand de cet appareil. Nous ajouterons que sur le réseau de l'État, où ces essais se poursuivent depuis plusieurs années déjà, l'appareil a toujours fonctionné de la manière la plus satisfaisante : il a été soumis à des épreuves fort dures et n'a jamais donné lieu à des ratés ou des avaries. Il représente un poids d'environ 60 kilogrammes par tête, soit 120 kilogrammes par wagon, ce qui est insignifiant ; son prix est assez minime et la transformation des véhicules peut se faire d'une façon rapide.

Cet appareil se présente donc dans des circonstances particulièrement intéressantes au point de vue de son adaptation au matériel européen.

CHAPITRE III

VOITURES A VOYAGEURS

§ 1er. — Distinction entre les voitures du système anglais et les voitures du système américain. — Leurs avantages et leurs inconvénients. — Voitures du type anglais à compartiments séparés. — Nécessité de l'intercommunication. — Voitures du type américain à circulation intérieure portées sur deux trucks. — Systèmes mixtes.

§ 2. — Description du matériel à compartiments séparés. — Voitures françaises. — Voitures de l'Europe centrale. — Voitures anglaises. — Véhicules spéciaux : fourgons à bagages, bureaux ambulants, wagons-écuries. — Nombre et écartement des essieux.

§ 3. — Description du matériel à circulation intérieure. — Voitures américaines. — Matériel suisse. — Application du matériel américain en Europe. — Grandes voitures à circulation intérieure. — Voitures des chemins de fer algériens. — Voiture-tramway de la compagnie du Nord.

§ 4. — Communication dans un train en marche. — Intercommunication électrique. — Appareil Prudhomme. — Appareil de l'Orléans. — Intercommunication pneumatique. — Appareils de l'Ouest, du Midi et de l'Etat. — Conclusion.

§ 5. — Éclairage. — Éclairage à l'huile végétale. Lampe à bec plat. Lampe à bec rond. — Éclairage à l'huile minérale. — Éclairage à la bougie. — Éclairage au gaz. — Éclairage électrique. — Conclusions.

§ 6. — Chauffage. — État de la question au point de vue réglementaire. — Appareils à chauffage intermittent. — Bouillottes mobiles à eau. — Procédés de réchauffage des bouillottes. — Bouillottes à l'acétate de soude. — Chaufferettes à sable. — Chaufferettes à feu. — Chaufferettes mixtes. — Appareils à chauffage continu. — Poêles. — Appareils à circulation d'air chaud. — Appareils à circulation d'eau chaude ou à thermosiphon. — Appareils à circulation de vapeur. — Résumé et conclusions.

Après avoir décrit les différents organes qui composent le *train* des véhicules de chemins de fer, il nous reste maintenant à parler de la *caisse* de ces véhicules et des diverses questions qui se rattachent à la disposition de cette caisse. Nous nous occuperons d'abord du matériel à voyageurs.

§ 1. — DISTINCTION ENTRE LES VOITURES DU SYSTÈME ANGLAIS ET LES VOITURES DU SYSTÈME AMÉRICAIN. — LEURS AVANTAGES ET LEURS INCONVÉNIENTS

Les différentes voitures à voyageurs en usage sur les chemins de fer se rattachent à deux types principaux, le type anglais et le type américain.

Dans le premier type, les voitures sont divisées en un certain nombre de compartiments, séparés les uns des autres par des cloisons transversales et on y pénètre par des portières placées sur les parois longitudinales des véhicules. C'est dans ce système qu'ont été construites les voitures employées depuis l'origine des chemins de fer en France, en Angleterre et presque partout en Europe.

Dans le second type, les voitures sont très allongées et ne comportent pas de portières latérales ; on y circule à l'intérieur par un couloir longitudinal qui débouche aux deux extrémites sur deux plates-formes donnant accès dans la voiture. Chaque plate-forme communique avec celle de la voiture voisine ce qui permet de circuler d'un bout à l'autre du train. Deux escaliers latéraux font communiquer cette plate-forme avec les trottoirs.

Depuis longtemps, ces deux types de voitures ont été ; pour ainsi dire, en lutte sur les chemins de fer et se sont disputé la faveur du public et des compagnies ; les voitures du premier type sont surtout employées en Europe, celles du second forment exclusivement le matériel des chemins de fer des États-Unis et de la plupart des États de l'Amérique du Sud. Après avoir été pendant de longues années à peu près complètement repoussées par les ingénieurs européens et surtout par les ingénieurs français, qui les considéraient comme inadmissibles aux grandes vitesses [1], les voitures du type américain sont maintenant couramment employées en Europe et on les voit maintenant circuler dans la plupart des trains express et fournir ainsi journellement la preuve que leur emploi est parfaitement conciliable avec la vitesse des trains les plus rapides.

Nous allons résumer rapidement les différents arguments qu'on a fait valoir de part et d'autre pour ou contre les voitures des types anglais et américain.

Voitures du type anglais. — Le principal avantage des voitures anglaises à compartiments séparés, c'est assurément l'utilisation aussi complète que possible de la surface de la voiture et par suite la réduction au minimum du poids mort par voyageur.

En effet, ces voitures sont habituellement formées de trois ou quatre compartiments renfermant chacune un petit nombre de places (six, huit ou dix)

[1] Voyez Couche. *Voie, Matériel roulant et l'Exploitation technique des Chemins de fer*, t. II.

de 1re, 2e ou 3e classe (il y a même une 4e classe en Allemagne) ; elles permettent donc, dans le cas où cela est nécessaire pour la formation des trains, d'ajouter un véhicule offrant un nombre assez restreint de places de la classe demandée et cela sans augmenter outre mesure le poids mort du train, Cette faculté n'existe pas au même degré avec les longues voitures américaines qui sont très lourdes et renferment soixante-dix ou quatre-vingts places.

On fait encore valoir, en faveur du matériel anglais, la facilité avec laquelle on le manœuvre dans les gares, la rapidité avec laquelle s'effectuent l'entrée et la sortie des voyageurs par les portières latérales, la tranquillité dont ils jouissent une fois qu'ils sont installés dans leur compartiment, puisqu'ils sont sûrs de n'être pas dérangés par d'autres voyageurs avant d'arriver à une station d'arrêt, la facilité du contrôle quant à la classe de la voiture occupée, au moins dans les stations, etc.

En revanche, on peut reprocher à ce matériel les défauts suivants [1] :

Difficulté et danger pour monter dans les voitures et en descendre à cause de l'incommodité des marchepieds qui donnent accès aux portières, surtout pour les personnes âgées ou peu ingambes ;

Impossibilité pour les voyageurs de changer de place ou de communiquer en tout temps avec les agents du train :

Difficulté du contrôle de route : ce contrôle ne peut être fait par les agents des trains qu'en circulant pendant la marche sur les marchepieds extérieurs, ce qui, sur certaines lignes, est absolument impossible, par suite du manque de largeur libre au passage des ouvrages d'art;

Fatigue du voyage pendant la saison chaude ;

Difficulté de chauffage de tous les compartiments;

Gêne pour la circulation dans les gares pendant le stationnement des trains ;

Danger que présente l'ouverture des portières pendant la marche;

Privation de l'usage des water-closets entre deux arrêts ;

Difficulté et danger pour allumer les lanternes;

Enfin, ventilation et éclairage défectueux.

Parmi ces inconvénients, qui n'ont pas tous la même importance, mais dont quelques-uns sont très graves, il en est un, le défaut de communication des voyageurs avec les agents du train, au sujet duquel l'opinion publique s'est vivement émue à plusieurs reprises, parce qu'il paraît correspondre à un manque de sécurité au point de vue des attentats criminels et des accidents de trains.

On a beaucoup discuté sur cette question et on s'est demandé en particulier si, à ce double point de vue la disposition intérieure des caisses des

[1] Goschler, t. III.

voitures anglaises présentait véritablement une sérieuse infériorité sur celle des voitures américaines à circulation intérieure.

M. Couche n'hésite pas à dire qu'au point de vue des attentats les deux types se valent[1] et que le couloir intérieur ne serait pas une sauvegarde, alors que les voyageurs rares et disséminés pendant une nuit d'hiver sont endormis et que la visite d'un conducteur, qui a trouvé tout en ordre et fermé les portes, permet au criminel de compter à coup sûr sur quelques minutes de tête à tête avec sa victime désignée. Le couloir lui-même, ajoute-il, avec ses escaliers latéraux si commodes, n'offre-t-il pas au coupable des moyens de fuite infiniment plus faciles que le matériel européen?

Quant à la sécurité envisagée d'une manière plus générale, c'est-à-dire au point de vue des conséquences de certains accidents de matériel, la communication intérieure offre, dit le même auteur, « des garanties dont on n'a pas encore réussi à doter le matériel à compartiments séparés. Le feu se développant dans un compartiment, la rupture d'un essieu, d'une roue, d'un ressort, le déraillement d'une voiture, placent les voyageurs dans la situation la plus critique, parce que leurs cris, leurs signaux de détresse, tous leurs efforts pour appeler l'attention du personnel du train peuvent rester pendant longtemps sans effet. » Cela ne saurait faire de doute. Au point de vue de la sécurité en général, le matériel anglais offre une incontestable publics; infériorité par rapport au matériel américain.

On s'est préoccupé depuis longtemps en France, et toujours sous la pression de l'opinion publique émue par des catastrophes récentes, de remédier à cette infériorité. Nous ne citerons pas les différentes circulaires qui ont été envoyées dans ce but aux compagnies par l'administration des Travaux publics; nous ne parlerons que des plus importantes.

A la suite d'un grave accident survenu le 15 août 1879 sur la ligne à voie unique de Paris à Granville, entre les stations de Flers et de Montsecret, une enquête fut ordonnée sur les moyens de prévenir les accidents de chemins de fer. Cette enquête, confiée à une commission d'inspecteurs généraux et d'ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, a été commencée le 1er septembre 1879; elle s'est poursuivie pendant dix mois sans interruption et s'est terminée par un rapport de son président adressé le 8 juillet au ministre des Travaux publics. Elle a porté sur toutes les questions qui concernent la police, la sûreté et l'usage des chemins de fer et le compte rendu qui en a été publié forme un vaste recueil de documents du plus haut intérêt touchant la voie, le matériel roulant et l'exploitation proprement dite.

En ce qui concerne la communication des voyageurs avec les agents des trains, la commission a émis l'avis qu'il y avait lieu :

[1] Couche, t. II. *Matériel de transport et Traction.*

« 1° D'inviter les compagnies de chemins de fer à exécuter désormais dans toute son étendue la prescription de l'article 23 de l'ordonnance de 1846 [1], en donnant aux conducteurs gardes-freins un moyen sûr et efficace de communiquer avec le mécanicien, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'un d'entre eux ;

« 2° De les inviter également à prendre les mesures nécessaires pour donner aux voyageurs le moyen de faire appel aux agents, et de recommander comme ayant fait des preuves sous ce rapport, aussi bien que pour les communications entre les agents, le mode de communication électrique en usage dans les compagnies du *Nord* et de *Paris-Lyon-Méditerranée* ;

« 3° De les inviter à prendre des mesures pour que la circulation le long des trains, par les marchepieds, soit toujours possible au moins pour un des agents, soit en adaptant des marchepieds et des mains courantes aux wagons à marchandises admis dans les trains de voyageurs, soit en plaçant convenablement ceux qui n'en seraient pas munis ;

« 4° D'appeler leur attention sur l'utilité qu'il y aurait, pour prévenir des tentatives criminelles, à établir des communications partielles entre les compartiments voisins d'une même voiture, par exemple au moyen d'ouvertures de dimensions restreintes, fermées par des glaces. »

La commission estimait que ces diverses mesures devaient être appliquées d'abord aux trains express et directs ou de longs parcours, puis étendues progressivement à tous les trains de voyageurs.

Ces conclusions ont été sanctionnées par une circulaire du 30 juillet 1880 qui invitait les compagnies à réaliser ces innovations dans tous les trains express ou directs effectuant des parcours de 25 kilomètres ou plus sans arrêts. Une nouvelle dépêche ministérielle du 15 avril 1884 invitait les compagnies à faire en sorte que l'intercommunication fût partout assurée dans les conditions indiquées ci-dessus, avant le 1er juillet 1885.

Toutes les compagnies, celle d'Orléans excepté, se sont exécutées dans le délai qui leur était accordé ; cette dernière annonçait seulement en janvier 1886 que ses dispositions étaient prises pour se mettre en règle à très bref délai.

Mais un nouveau crime commis dans un train de la ligne de l'Ouest (l'assassinat de M. Barrême, préfet de l'Eure, le 13 janvier 1886), vint de nouveau émouvoir l'opinion publique ; à la suite d'une interpellation à la Chambre des députés, dans laquelle avait été signalée la nécessité notamment de modifications à apporter au matériel roulant, une nouvelle commission

[1] Ordonnance du 15 novembre 1846 modifiée par le décret du 1er mars 1901, titre III, art. 23. — « Le conducteur de tête et, sauf les exceptions autorisées par le ministre, les garde-freins seront mis en communication avec le mécanicien pour donner, en cas d'accident, le signal d'alarme, par tel moyen qui sera autorisé par le ministre des Travaux publics, sur la proposition de la compagnie. »

fut instituée, exclusivement formée d'hommes techniques, et chargée d'étudier les mesures à prendre pour assurer aux voyageurs en chemin de fer de nouvelles garanties de protection contre les tentatives criminelles. Cette commission a fait porter ses recherches sur les trois points suivants : 1° perfectionnement et réglementation des signaux d'appel; 2° modifications à apporter au matériel, en vue d'établir des communications entre les compartiments contigus d'un même véhicule ou les différentes voitures d'un même train ; 3° surveillance du train et des voyageurs, en cours de route, par les agents des compagnies.

Les conclusions de la commission ont été sanctionnées par une circulaire du 10 juillet 1886, adressée aux compagnies, qui a statué de la manière suivante au sujet des trois questions soulevées :

I. *Signaux d'appel.*— Le ministre prescrit d'étendre à tous les trains de voyageurs proprement dits, à l'exception des trains mixtes, l'application du système d'intercommunication avec signaux d'alarme, déjà prescrit aux compagnies pour les trains express et directs et cette amélioration doit être complètement réalisée avant le 1er janvier 1888.

Les conditions à remplir par les appareils sont les suivantes :

a. En aucun cas la hauteur des boutons ou poignées d'appel au-dessus du plancher de la voiture ne doit dépasser 1,80 m. ;

b. Chaque compartiment doit contenir un bouton ou une poignée, placés vers le centre du plafond, ou, si cette condition ne peut être remplie, deux boutons ou deux poignées placés sur les parois ;

c. Les boutons ou poignées d'appel doivent être tout à fait libres, de telle sorte qu'il n'y ait rien à briser ou à déplacer avant de les mettre en jeu ;

d. Les conditions d'emploi de l'appareil doivent être indiquées par des placards bien apparents et imprimés en caractères commodément lisibles ;

e. Les appareils doivent être disposés, autant que possible, de telle sorte que la sonnerie ou le sifflement provoqués par leur manœuvre continuent à se faire entendre jusqu'à ce que les agents du train interviennent pour y mettre fin.

II. *Modification du matériel roulant.* — La commission n'a pas pensé qu'il fallût chercher la solution du problème dans une transformation du type actuel des voitures, en vue d'établir des communications, soit entre les compartiments d'un même véhicule, soit entre toutes les voitures du même train. Une mesure de ce genre entraînerait, en effet, des dépenses qui se chiffreraient par plusieurs centaines de millions. Néanmoins il lui a paru désirable, sinon au point de vue du danger des attentats, du moins dans l'intérêt de la santé et du bien-être des voyageurs, que les compagnies poursuivent et développent les

expériences déjà entreprises par certaines d'entre elles, en mettant en service régulier divers types de voitures à circulation intérieure.

Le ministre se borne donc à prescrire, en vue d'atténuer les dangers résultant de l'isolement des voyageurs, et conformément à l'avis de la commission, que toutes les voitures à construire seront munies de glaces dormantes dans les cloisons séparatives des compartiments et qu'il en sera de même des voitures actuellement en service, au fur et à mesure de leur envoi en grosse réparation. Les dimensions de ces glaces devront être telles que les glaces d'une cloison permettent de voir, dans le compartiment adjacent, tous les voyageurs de la banquette qui fait face à cette cloison.

III. *Surveillance des trains en cours de route.* — La commission ayant reconnu que la surveillance des trains en cours de route, par les agents circulant sur les marchepieds, était, dans bien des cas, rendue impossible par l'insuffisance du gabarit des ouvrages d'art et qu'elle serait, d'ailleurs, inefficace au point de vue des attentats,le ministre n'a prescrit aux compagnies aucune mesure particulière à ce sujet.

Il résulte bien nettement de l'examen des documents qui précèdent que l'administration française a reconnu que le matériel roulant de ses chemins de fer était inférieur au matériel du type américain, au point de vue de la sécurité, de la santé et du bien-être des voyageurs, mais qu'elle n'en a pas ordonné la transformation par suite du chiffre élevé de la dépense à laquelle entraînerait une modification de ce genre. Cette solution est assurément très sage et il n'est personne, croyons-nous, qui voudrait demander au Trésor public de fournir les centaines de millions qui seraient nécessaires pour transformer intégralement le matériel à voyageurs. Il n'en est pas moins vrai que toutes les mesures que l'on pourra prescrire, telles que l'installation de signaux d'appel et de glaces dormantes dans les cloisons, ne seront que des atténuations au danger de l'isolement et ne le feront pas disparaître complètement.

Nous verrons d'ailleurs tout à l'heure que les compagnies sont entrées largement dans la voie qui leur était tracée et qu'elles ont adopté d'une manière générale, au moins pour leurs trains express, des voitures à circulation intérieure.

Voitures du type américain. — Les voitures qui se rattachent au type américain peuvent être divisées en trois catégories [1] :

[1] *Note sur les avantages et les inconvenients des voitures à voyageurs à compartiments séparés et des voitures à intercirculation*, par M. H. Gondry, directeur aux chemins de fer de l'Etat belge. *Revue générale des Chemins de fer*, septembre 1887.

1° *Voitures ne formant qu'un seul compartiment.* — Elles n'ont de portes qu'aux deux bouts sur les deux plates-formes et les sièges sont disposés de manière à laisser un passage vers le milieu de la voiture. C'est le type américain proprement dit.

2° *Voitures à couloir central.* — Elles sont munies de cloisons transversales avec portes vers le milieu, de manière à former plusieurs compartiments, tout en permettant la communication d'un bout à l'autre du véhicule.

3° *Voitures à couloir latéral.* — Les cloisons transversales ne s'étendent pas sur toute la largeur de la voiture ; elles se terminent à une cloison longitudinale formant un couloir sur un des côtés. Des portes font communiquer les divers compartiments avec ce couloir.

Le caractère commun de ces trois catégories de voitures, c'est d'être portées sur deux trucks indépendant l'un de l'autre, généralement formés de deux essieux parallèles très rapprochés ; chaque groupe d'essieux peut pivoter autour d'une cheville ouvrière fixée au châssis, ce qui permet à la voiture de s'inscrire sans difficulté dans des courbes de très faible rayon.

Les avantages de ces différentes voitures sont les suivants[1] :

Absence de danger à la montée et à la descente, par suite de la présence des plates-formes rétrécies aux deux extrémités, plates-formes qui communiquent de plain-pied avec le plancher de la voiture et, par deux petits escaliers latéraux, avec le sol de la voie ;

Facilité de contrôle et de communication, ce qui permet aux voyageurs d'appeler à l'aide en cas de danger.

Facilité d'installation de cabinets d'aisances, de lavabos et de buffets ;

Facilité d'éclairage, de chauffage et de ventilation ; l'allumage des lanternes se fait en marche, sans perdre de temps, par les agents du train, sans qu'il soit besoin d'anticiper sur le moment où cet allumage est nécessaire et sans qu'il y ait lieu de monter sur le toit des voitures ;

Commodité pour la circulation dans les gares pendant le stationnement des trains, par suite de la présence des escaliers et des plates-formes.

En revanche on reproche à ce matériel les inconvénients suivants :

Trop grande liberté de circulation intérieure pendant les voyages de nuit ;

Inégalité de chargement pouvant être une cause de déraillement ;

Difficultés de manutention dans les gares ;

Et surtout augmentation du poids mort par voyageur et de la longueur des trains.

[1] Goschler, t. III.

Ce dernier inconvénient est le plus sérieux; il se fait surtout sentir lorsque, le train étant complet, on est obligé d'ajouter, pour quelques voyageurs qui se présentent, une longue et lourde voiture contenant un grand nombre de places inutiles, ce qui augmente considérablement les frais de traction.

On ajoutait autrefois, aux objections ci-dessus soulevées par le matériel américain, celle qu'on tirait de l'impossibilité de l'utiliser aux grandes vitesses.

« Les voitures avec châssis relié seulement par des chevilles ouvrières à des trucks auxquels les essieux sont fixés, conviennent pour circuler à faible vitesse sur des voies faiblement constituées, médiocrement entretenues, à niveau mal réglé... Mais ce système est inadmissible à grande vitesse, même sur des voies excellentes. »

Ainsi s'exprimait M. Couche[1] en 1873.

Or l'expérience a démontré d'une manière péremptoire que c'est là une opinion erronée. Les trains de luxe organisés, depuis longtemps, par la Société internationale des wagons-lits et des grands express européens, la présence journalière des voitures de cette nature dans les trains les plus rapides des diverses compagnies, ont montré que les longues voitures américaines portées sur deux trucks peuvent circuler sans aucun inconvénient aux plus grandes vitesses admises sur le continent européen.

C'est donc une objection à laquelle il faut renoncer quand on parle du matériel américain ; la sécurité de la circulation de ce matériel, aux plus grandes vitesses, est aujourd'hui un fait incontestable.

Il ne reste, suivant nous, comme objection sérieuse à faire à ce matériel, que l'augmentation du poids mort et, par suite, des frais de traction : nous verrons bientôt dans quelles limites cette augmentation paraît admissible sur les réseaux européens.

Sytèmes mixtes. — Rien ne force, d'ailleurs, à prendre le matériel américain tel qu'il est, c'est-à-dire avec ses longues et lourdes voitures portées sur deux trucks. On peut adopter pour les caisses le principe de la circulation intérieure, tout en les faisant reposer sur deux essieux parallèles comme dans le matériel anglais.

C'est ce qu'on a fait sur quelques chemins de fer suisses et allemands (Wurtemberg, Bavière), en France sur un certain nombre de lignes, sur les chemins algériens, etc. C'est ce qu'on fait généralement aujourd'hui sur les chemins de fer à voie étroite et sur les tramways : la caisse, de longueur ordinaire, est portée sur deux essieux et comporte un couloir central permettant la circulation intérieure dans les voitures.

[1] Couche, t. II.

§ 2. — DESCRIPTION DU MATÉRIEL A COMPARTIMENTS SÉPARÉS

Voitures françaises. — Les voitures à voyageurs qui circulent sur les grands réseaux français comportent des compartiments de trois classes.

Chaque voiture se compose habituellement de trois, quatre ou cinq compartiments de la même classe, dont les installations sont plus ou moins confortables, suivant la classe à laquelle ils appartiennent.

Dans les voitures de 1re classe, les sièges sont en drap, rembourrés et capitonnés ; chaque compartiment renferme quatre places de chaque côté, séparées au milieu par un appui mobile. Quelquefois il n'existe que trois places de chaque côté ; elles sont alors séparées par deux appuis mobiles de manière à former de véritables fauteuils distincts les uns des autres. Dans le matériel le plus employé, chaque place a une largeur de 0,60 m. à 0,65 m ; la hauteur libre est de 1, 90 m. à 2 mètres, la distance entre les cloisons des compartiments de 2 mètres à 2, 20 m. [1] Quand il y a trois compartiments par voiture, le poids de la voiture est de 6 à 8 tonnes et son prix de 10 000 francs, soit 400 francs par place.

Les voitures de première classe renferment souvent, outre les compartiments ordinaires, des compartiments dits de luxe, qu'on ne peut occuper que moyennant le paiement d'une surtaxe par rapport à la 1re classe ; ce sont les *coupés*, ne renfermant que quatre places, les *fauteuils-lits*, contenant trois sièges qu'on peut rabattre de manière à former des lits pour passer la nuit, etc. On trouve, dans quelques trains, certaines voitures qui contiennent des water-closets-lavabos, confortablement installés.

Les figures 508 et 509 représentent un type déjà ancien de voiture de 1re classe de la compagnie de l'Est, contenant deux compartiments à six places et un coupé placé à une extrémité de la voiture.

Dans les voitures de 2e classe, les banquettes sont recouvertes en drap et simplement rembourrées ; chaque compartiment renferme dix places qui ne sont pas habituellement munies de séparations ; chaque place a 0m,50 environ de largeur, la hauteur libre sous le plafond est de 1, 90 m. et la distance entre les cloisons de 1, 60 m. environ. Le poids de ces voitures, composées de quatre compartiments, varie de 5 à 7 tonnes ; leur prix est de 7 500 francs environ, soit 190 francs par place.

Les voitures de 3e classe sont disposées comme celles de seconde, mais

[1] Aux termes de l'ordonnance du 15 novembre 1846, les dimensions minima de la place affectée à chaque voyageur devaient être les suivantes : 0,45 m. en largeur, 0,65 m. en profondeur, 1.45 m. en hauteur. L'article 12 du décret du 1er mars 1901 dit seulement que le « ministre déterminera, la compagnie entendue, quelles devront être les dimensions minima de la place affectée à chaque voyageur. »

VOITURE DE 1re CLASSE DE LA COMPAGNIE DE L'EST (Echelle de 0,015 m. par mètre).

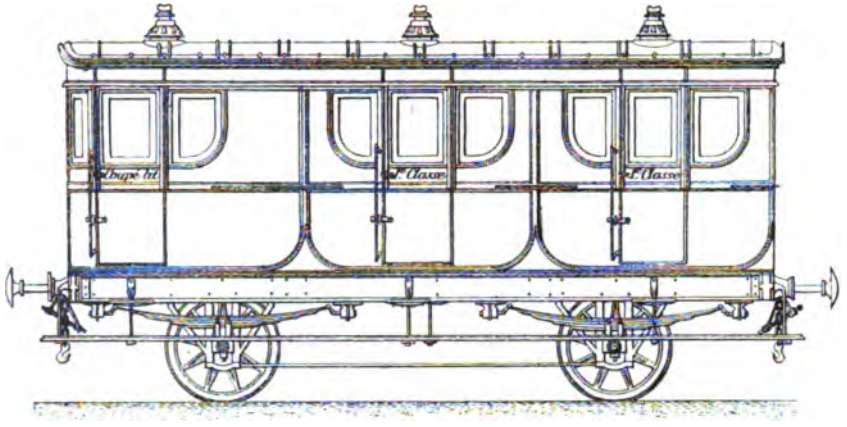


Fig. 508. — Elévation.

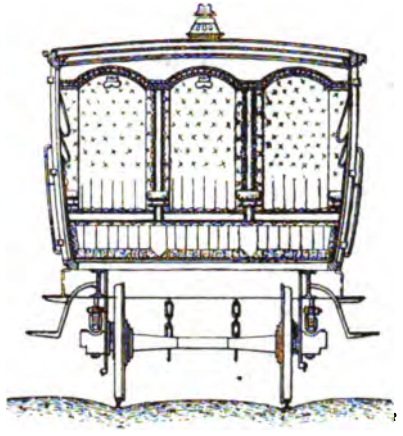


Fig. 509. — Coupe transversale.

VOITURE MIXTE DE LA COMPAGNIE P.-L.-M. (Echelle de 0,015 m. par mètre).

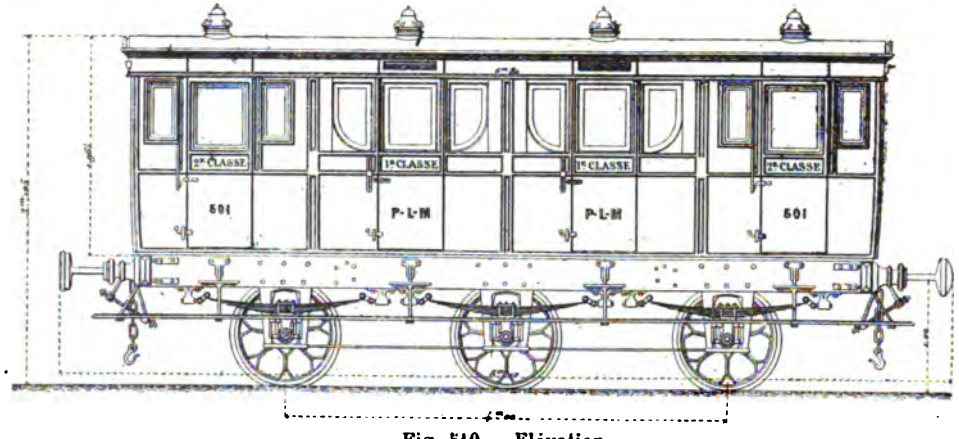


Fig. 510.— Elévation.

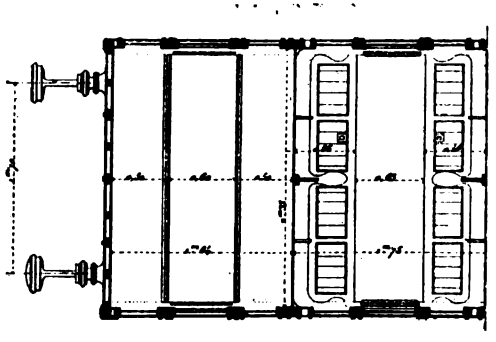


Fig. 511. — Demi-plan.

les banquettes et les dossiers y sont généralement en bois nu ; on en rencontre cependant quelques-unes qui sont rembourrées, mais principalement sur les grandes lignes. Elles renferment cinq compartiments à dix places ; chaque place a 0,45 m. à 0,50 m. de largeur, la hauteur libre est de 1,75 m. à 1,80 m. et la distance entre les cloisons de 1,20 m. Leur poids varie de 5 à 7 tonnes ; leur prix est de 6 000 francs environ, soit 120 francs par place.

On rencontre aussi les voitures dites *mixtes*, c'est-à-dire contenant des compartiments de différentes classes. Elle sont principalement destinées à desservir les lignes de peu d'importance, afin de réduire la longueur et le

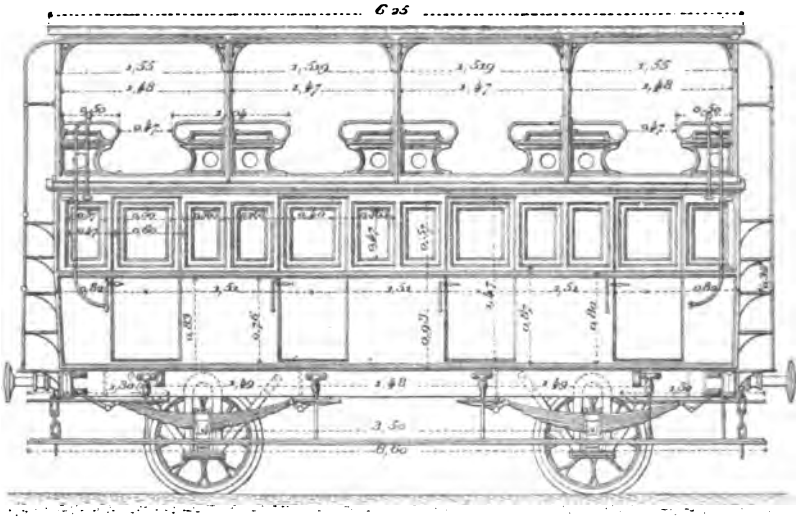


Fig. 512. — Voiture de 2e classe à impériale de la compagnie de l'Ouest. — Élévation. (Echelle de 0,015 par mètre).

poids des trains. Les figures 510 et 511 représentent un type de voiture mixte de la compagnie P.-L.-M., contenant 1re et 2e classes ; on en rencontre également qui comportent les trois classes.

Enfin sur les lignes de banlieue on fait circuler des voitures à deux étages avec impériales fermées ou simplement couvertes. Ces voitures, très appréciées du public en été, mais peu recherchées en hiver, contiennent 72 places, dont 32 à l'impériale ; elles présentent l'avantage de diminuer beaucoup le poids mort par place offerte. Leur poids est de 5 à 8 tonnes et leur prix de 7 500 francs environ.

Les figures 512, 513 et 514 représentent un type de voiture à impériale de la compagnie de l'Ouest ; nous avons déjà représenté dans les figures 435 et 496 le plan du châssis et l'élévation par bout de cette voiture.

Les données et renseignements qui précèdent s'appliquent au matériel le plus répaudn, à celui qui circule sur la généralité des lignes de moyenne im-

VOITURE DE 2e CLASSE A IMPÉRIALE DE LA COMPAGNIE DE L'OUEST (Echelle de 0,015 m. par mètre).

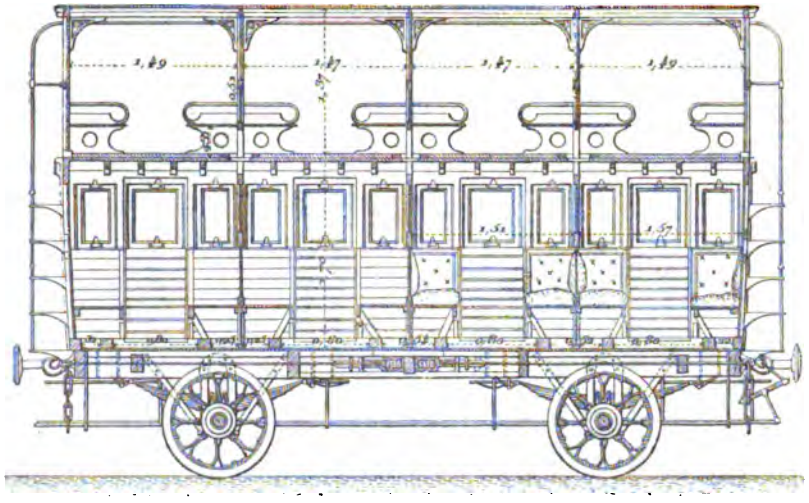


Fig. 513. — Coupe longitudinale.

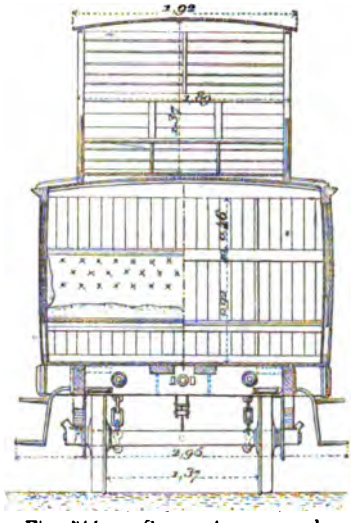


Fig. 514. — Coupe transversale

VOITURE DE 3e CLASSE DE LA COMPAGNIE DE L'EST (Echelle de 0,015 par mètre).

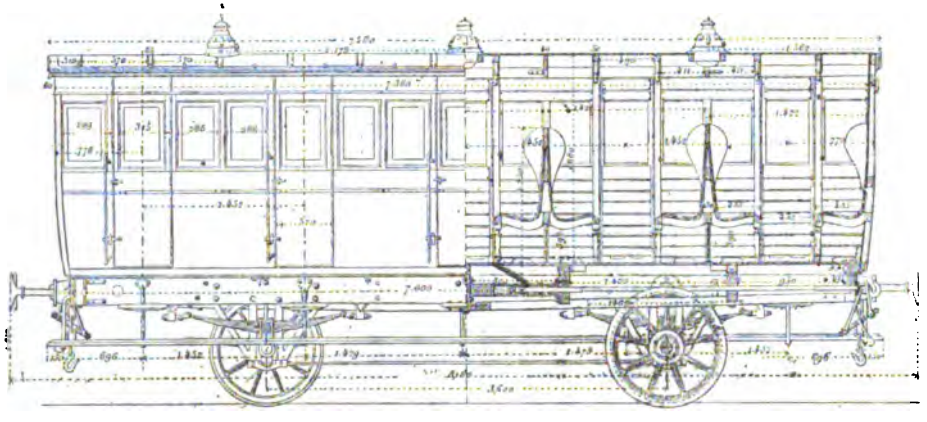


Fig. 515. — Elévation et coupe longitudinale

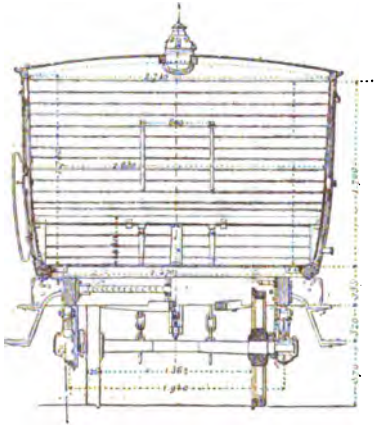


Fig. 516. — Coupe transversale.

portance. Mais, depuis un certain nombre d'années, on a adopté en France, comme en Angleterre et en Allemagne, des types de voitures plus lourdes, plus confortables, plus élevées, plus satisfaisantes en un mot pour les voyageurs.

C'est ainsi qu'on peut citer, sur le réseau d'Orléans, des voitures de 1re classe à quatre compartiments reposant sur deux essieux distants de 5,50 m. Chaque compartiment a 2,60 m. de largeur intérieure, 2,15 m. de longueur (distance entre les cloisons transversales) et 2,075 m. de hauteur au milieu. Un double plancher, dont le vide est rempli de sciure de bois, amortit le bruit des roues. La longueur totale du châssis est de 8,80 m. La voiture pèse 10 tonnes.

Les autres compagnies ont adopté un type analogue.

Des améliorations notables se sont produites également dans le matériel des classes inférieures. Ainsi dans les voitures de 2e et de 3e classe qui contiennent toujours cinq places par banquette, la place du milieu est souvent pourvue de chaque côté, à la hauteur de la tête d'un petit accotoir permettant au voyageur de s'appuyer pour dormir (fig. 515 et 516). En outre, des rideaux et des filets à bagages sont maintenant installés dans les voitures de 2e et même de 3e classe.

En somme, les voitures françaises qui, pendant longtemps, ont laissé à désirer au point de vue des convenances du public, ce dont on peut rendre principalement responsables les prescriptions des cahiers des charges, véritablement insuffisantes à cet égard [1], se sont beaucoup améliorées dans ces dernières années ; elles offrent maintenant, en général, les conditions de confortable compatibles avec le type du matériel employé. Nous excepterons toutefois de cette appréciation de chauffage et l'éclairage des voitures qui, comme nous le verrons plus loin, y sont encore souvent fort insuffisants.

On se rendra compte des progrès accomplis sur ce point par la description que nous allons faire d'un certain nombre de voitures des grands réseaux français, qui ont figuré, comme matériel nouveau, à l'Exposition de Paris en 1889 et qui forment aujourd'hui le matériel courant de ces réseaux.

Le tableau de la page 253, que nous reproduisons à titre de document, donne, en ce qui concerne le réseau de l'Est, les modifications successives apportées aux dimensions des voitures depuis l'origine jusqu'en 1888.

On voit, à l'examen de ce tableau, que le cube d'air accordé à chaque

[1] Rappelons qu'à l'origine les voitures de 3e classe n'étaient pas couvertes et qu'il n'a fallu rien moins qu'une révolution pour faire donner aux voyageurs de cette catégorie un abri contre la pluie et le soleil. C'est en effet par un décret du gouvernement provisoire de 1848, tombé avec lui et repris en 1852 par la gauche de l'Assemblée législative, que fut obtenu ce résultat ; et encore, certains députés s'opposaient à cette amélioration, en se basant sur ce que « la masse des voyageurs de 3e classe avait l'habitude d'être durement traitée » (Goschler, t. III).

TABLEAU COMPARATIF DES DIMENSIONS DES VOITURES ORDINAIRES DE TOUTES CLASSES MISES SUCCESSIVEMENT EN SERVICE PAR LA COMPAGNIE DE L'EST

CATÉGORIES DES VOITURES	TYPE	NOMBRE de compartiments.	NOMBRE de places.		DIMENSIONS INTÉRIEURES D'UN COMPARTIMENT					POIDS d'origine et sans frein.		POIDS avec améliorations y compris le frein à air comprimé (Westinghouse).		OBSERVATIONS
			Par compartiment.	Par voiture.	Longueur ou distance entre les cloisons.	Largeur.	Hauteur.	Cube d'air total.	Cube d'air par voyageur.	Total à vide.	Par voyageur.	Total à vide.	Par voyageur.	
					m.	m.	m.	m³	m³	kg.	kg.	kg.	kg.	
1re classe.	1847	3	8	24	1,800	2,390	1,740	7,485	0,935	5 500	229	6 400	266	
	1855	3	8	24	1,910	2,470	1,000	7,950	0,993	5 790	241	7 300	304	
	1865	3	8	24	2,140	2,650	1,850	10,491	1,311	6 150	256	8 700	362	
	1877	3	8	24	2,300	2,600	2,050	12,260	1,532	9 785	407	10 600	442	
	1888[1]	4	6[2]	26	2,150	1,945	2,220	9,284	1,540	13 450	517	14 000	538	[1] A couloir intérieur, cabinet de toilette, water-closet, éclairage au gaz (voy. plus loin la description de cette voiture).
			7[3]		2,150	2,650	2,250	12,819	1,831					[2] Compartiment du milieu.
														[3] Compartiments des bouts.
2e classe	1847	3	10	30	1,570	2,300	1,700	5,865	0,586	5 050	168	5 800	193	
	1855	4	10	40	1,665	2,430	1,735	7,020	0,702	6 100	152,5	8 200	205	
	1865	4	10	40	1,740	2,650	1,800	8,346	0,835	6 670	167	8 600	215	
	1877	4	10	40	1,785	2,630	2,100	9,858	0,986	9 215	230	9 745	243	
	1888	5	10	50	1,800	2,630	2,100	9,941	0,994	10 420	208	10 950	219	
3e classe	1847	4	10	40	1,320	2,300	1,700	5,161	0,516	5 090	127	5 700	142	
	1855	5	10	50	1,328	2,430	1,735	5,600	0,560	5 680	113,5	7 700	154	
	1865	5	10	50	1,422	2,650	1,820	6,858	0,686	6 200	124	8 200	164	
	1877	5	10	50	1,420	2,630	2,160	7,843	0,784	9 170	184	9 700	194	
	1888	6	10	60	1,500	2,630	2,160	8,284	0,828	10 370	173	10 900	181	

voyageur a été constamment en augmentant. Il en est de même du poids mort, dont l'augmentation est corrélative de l'accroissement du confort, de la vitesse de marche des trains et de la sécurité.

Des résultats analogues pourraient être constatés, quoique avec des chiffres un peu différents, pour le matériel des autres compagnies.

Passons maintenant à la description sommaire des voitures.

COMPAGNIE DU NORD

VOITURE DE 1re CLASSE A TROIS COMPARTIMENTS AVEC LITS ET CABINETS DE TOILETTE

Cette voiture comprend un compartiment ordinaire à huit places et deux compartiments à lits communiquant entre eux par un couloir sur lequel donnent deux water-closets avec lavabo ; chacun de ces deux compartiments renferme trois lits rabattants et un fauteuil fixe. La voiture peut donc contenir seize voyageurs.

Les compartiments à lits sont à volonté séparés ou réunis au moyen d'une porte roulante qui se dissimule entre les deux water-closets.

La voiture est à double suspension ; elle comporte l'intercommunication électrique, le chauffage au moyen de briquettes par fourneaux extérieurs, et un frein à huit sabots, actionné par deux appareils de serrage, dont l'un est à vide, l'autre à l'air comprimé automatique et direct.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Largeur totale de la caisse	8,806 m.
Largeur en œuvre à la ceinture	2,565 —
Longueur des compartiments entre les cloisons :	
Compartiment à huit places	2,250 —
Compartiment à lits	1,845 —
Hauteur en œuvre au milieu de la caisse	2,030 —
Écartement des essieux	5,300 —
Poids mort total	12 580 kg.
Poids mort moyen par place	786,250
Poids mort par place du compartiment ordinaire	350 —
— à lits	1 200 —

COMPAGNIE DE L'EST

VOITURE DE 1re CLASSE (SÉRIE A). N° 102, A COULOIR LATÉRAL PARTIEL AVEC CABINET DE TOILETTE ET WATER-CLOSET

Cette voiture (fig. 317), étudiée en vue de procurer les avantages du matériel à circulation intérieure sans avoir l'inconvénient de son poids mort très

élevé, comprend cinq compartiments, dont les deux extrêmes à sept places sont en relation par un couloir latéral sur lequel s'ouvrent deux compartiments à six places et, entre ces derniers, un petit compartiment formant cabinet de toilette et water-closet.

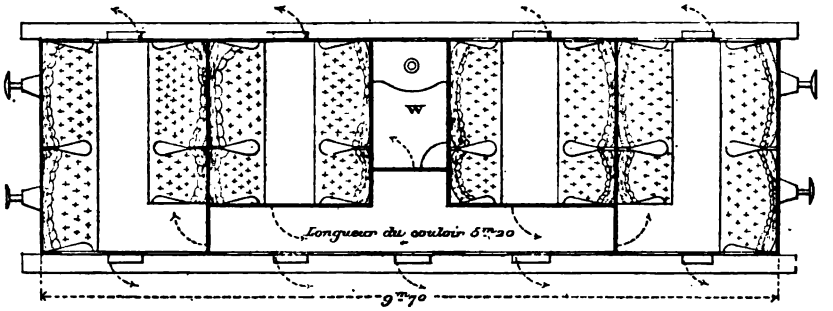


Fig. 517. — Voiture de 1re classe à couloir latéral partiel. — Compagnie de l'Est $\left(\frac{1}{100}\right)$.

La voiture est chauffée par des bouillottes, éclairée au gaz ; elle comporte l'intercommunication électrique et le frein Westinghouse. Les sièges sont montés de manière à pouvoir être tirés vers le milieu du compartiment et transformés en lits pour la nuit.

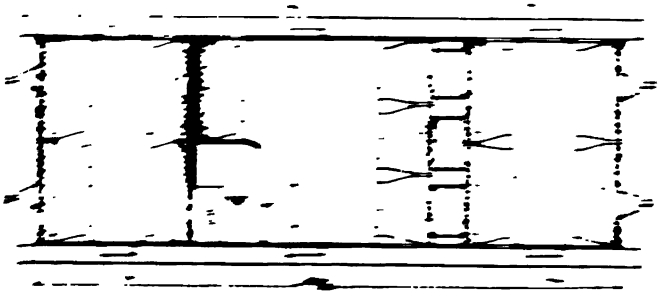
ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur totale de la caisse		9,70	m.
Largeur intérieure à la ceinture		2,65	—
Longueur d'un compartiment extrême		2,15	—
— intermédiaire		1,945	—.
Hauteur intérieure des compartiments	extrêmes	2,325	—
	intermédiaires	2,300	—
Écartement des essieux		5,700	—
Poids mort sur rails		10 000	kg.
Nombre de places		26	
Poids mort par place offerte		538	kg.

COMPAGNIE DE L'OUEST

VOITURE A SALON-LITS

Cette voiture (fig. 518), étudiée en vue des lignes où les places de luxe ne sont demandées qu'en petit nombre à la fois, comporte au centre un compartiment salon-lits-toilette et à chaque extrémité un compartiment ordinaire de 1re classe. Un cabinet de toilette water-closet est placé dans un angle du compartiment salon, lequel offre cinq places pour le jour et quatre lits pour la nuit.



[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]		[illegible]
[illegible]		[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

Hauteur intérieure des compartiments	1,98 m.
Écartement des essieux	3,76 —
Poids mort total	10 200 kg.
Nombre de places	28
Poids mort par place offerte	365 kg.

COMPAGNIE DU MIDI

VOITURE AAL DE 1re CLASSE AVEC COUPÉ, CABINETS DE TOILETTE ET WATER-CLOSET

Cette voiture (fig. 519), destinée au service des trains express, comprend deux compartiments de 1re classe et deux compartiments de coupé avec cabinets

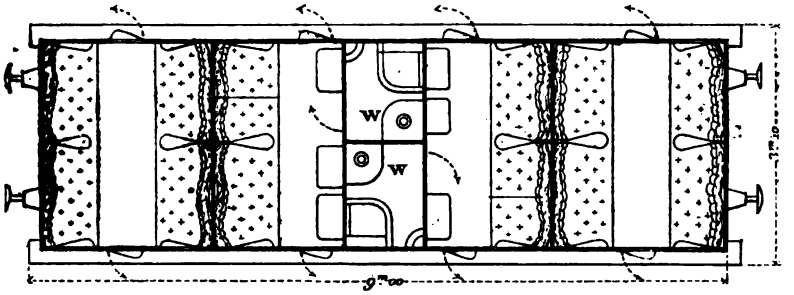


Fig. 519. — Voiture AAL. Compagnie du Midi $\left(\frac{1}{100}\right)$.

de toilette et water-closet. Le siège des coupés est disposé en tiroir sur les trois quarts de sa longueur et peut former un lit pour la nuit. La voiture est munie du frein à air comprimé, système Wenger, et de l'intercommunication pneumatique (type Midi), qui permet aux voyageurs de serrer les freins par le simple tirage d'un bouton.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur maxima de la caisse	9 m.
Largeur extérieure	2,76 —
Hauteur intérieure	2,025 —
Écartement des essieux	5,50 —
Poids mort total	11 500 kg.
Nombre de places	24
Poids mort par place offerte	479 kg.

VOITURE AAZ DE 1re CLASSE AVEC CABINETS DE TOILETTE ET WATER-CLOSET

Cette voiture (fig. 520), destinée aux trains express, comprend trois compartiments de 1re classe ; deux de ces compartiments communiquent entre eux et ont accès dans un cabinet de toilette avec water-closet. Le troisième compartiment est indépendant des deux autres ; il a un cabinet de toilette

particulier et peut être réservé soit pour dames seules, soit pour une famille.

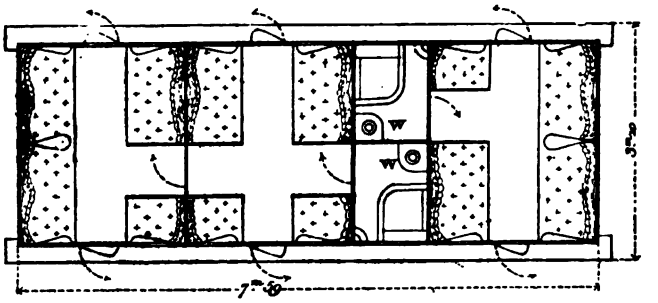


Fig. 520. — Voiture AAZ. Compagnie du Midi $\left(\frac{1}{100}\right)$.

La voiture est munie du frein Wenger et de l'intercommunication pneumatique.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur maxima de la caisse	7,59 m.
Largeur extérieure	2,76 —
Hauteur intérieure	2,08 —
Écartement des essieux	4,50 —
Poids mort total	10 600 kg.
Nombre de places	20
Poids mort par place offerte	530 kg.

VOITURE BB DE 2e CLASSE

Cette voiture, destinée au service des trains express et directs, comprend cinq compartiments de dix places chacun. Les sièges et les dossiers sont garnis en crin et recouverts de drap bleu marine.

La voiture comporte le frein Wenger et l'intercommunication pneumatique.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur maxima de la caisse	8,28 m.
Largeur extérieure	2,76 —
Hauteur intérieure	2,015 —
Écartement des essieux	4,85 —
Poids mort total	18 800 kg.
Nombre de places	50
Poids mort par place offerte	216 kg.

VOITURE CC DE 3e CLASSE

Cette voiture, destinée au service des trains directs et omnibus à longs parcours, comprend cinq compartiments de dix places chacun. Celui du

milieu est isolé par des cloisons pleines, les autres ne sont séparés que par des cloisons à jour s'arrêtant au dossier de la banquette. Les sièges sont en étoffe de crin noir et garnis de crin ; des étagères et des porte-chapeaux existent dans les cloisons.

La voiture comporte le frein Wenger et l'intercommunication pneumatique.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur maxima de la caisse	8,28	m.
Largeur extérieure	2,76	—
Hauteur intérieure	1,95	—
Écartement des essieux	4,85	—
Poids mort total	10 500	kg.
Nombre de places	50	
Poids mort par place offerte	210	kg.

COMPAGNIE D'ORLÉANS

VOITURE DE 1re CLASSE A 4 COMPARTIMENTS AA

Elle comprend quatre compartiments de 8 places chacun. Chaque compartiment est éclairé par deux lampes Shallis et Thomas [1] à l'huile minérale ; il est chauffé au moyen des bouillottes ordinaires. La caisse est munie d'un double plafond destiné à garantir les voyageurs contre les fortes chaleurs de l'été et d'un double plancher qui atténue le bruit ; ces doubles parois sont remplies de cellulose en poudre. La caisse repose sur le châssis par l'intermédiaire de rondelles en caoutchouc qui amortissent les vibrations.

La voiture comporte le frein continu (système Wenger) et l'intercommunication électrique. Enfin, chaque compartiment est muni d'un appareil de ventilation, système Pignatelli, dont le but est de déterminer à l'intérieur une ventilation modérable à volonté et surtout d'empêcher la poussière d'y pénétrer.

A cet effet une manche à vent (fig. 521 et 522), placée sur le toit de la voiture, refoule l'air à l'intérieur du compartiment sous l'action de la vitesse du train. Un récipient contenant une certaine quantité d'eau est également placé sur le toit, entre la manche à vent et le point où l'air débouche dans la voiture ; dans ce récipient l'air se rafraîchit et se débarrasse de la poussière. Le contact entre l'air et l'eau est rendu plus intime au moyen de cloisons ; des fils métalliques très fins, dont sont remplis les casiers, servent au même usage et aussi à arrêter les escarbilles et les gros grains de poussière

[1] Voir au présent chapitre, § 5.

qui pourraient traverser l'appareil quand il ne contient pas beaucoup d'eau. Un registre d'une manœuvre facile est placé à l'intérieur du compartiment et permet de régler à volonté l'admission de l'air. Pour n'avoir pas à se préoccuper de l'orientation de la manche à vent suivant le sens de la marche du train, l'appareil est double et muni de deux pavillons et de deux réservoirs;

Ventilateur Pignatelli. — Compagnie d'Orléans $\left(\frac{1}{20}\right)$.

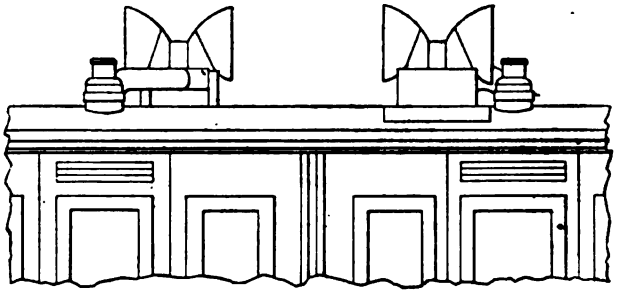


Fig. 521. — Elévation d'une partie du toit de la voiture

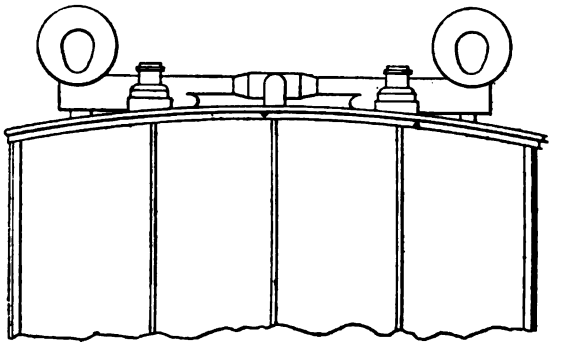


Fig. 522. — Vue par bout.

l'un ou l'autre de ces appareils fonctionne suivant le sens de la marche du train, un clapet isole celui qui ne fonctionne pas.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur totale de la caisse	8,840 m.
Largeur intérieure	2,600 —
Longueur d'un compartiment	2,150 —
Hauteur intérieure au milieu	2,075 —
Écartement des essieux	5,550 —
Poids mort	11 530 kg.
Nombre de places	32
Poids mort par place offerte	360 kg.

COMPAGNIE P.-L.-M.

VOITURE DE 1re CLASSE A 8 COMPARTIMENTS SÉPARÉS

Cette voiture (fig. 523) est montée sur deux bogies. Elle renferme six compartiments de 1re classe communiquant deux à deux et deux compartiments de fauteuils-lits communiquant entre eux. On y accède par des portières latérales. Il y a sept places par compartiment de 1re classe et trois places par compartiment de fauteuil-lit, au total quarante-huit places. Un cabinet de toilette avec un water-closet dessert chaque groupe de deux compartiments.

La voiture est munie :

Du frein continu à air comprimé ;

D'un système de chauffage par quatre poêles à thermo-syphon desservant chacun un groupe de deux compartiments par une circulation d'eau chaude dans les bouillottes fixes, logées dans le plancher.

De l'éclairage au gaz d'huile ;

De l'intercommunication électrique.

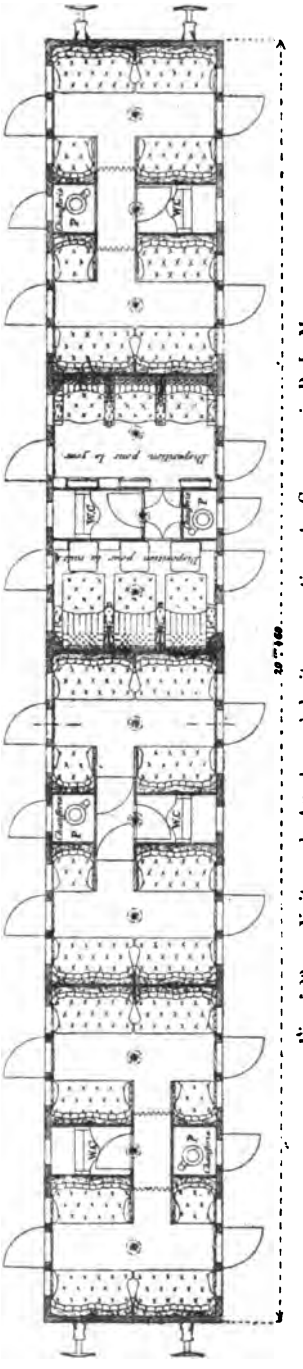


Fig. 523. — Voiture de 1re classe à huit compartiments. Compagnie P.-L.-M.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur totale de la caisse.	20,46	m.
Largeur extérieure de la caisse	2,80	—
Longueur d'un compartiment ordinaire . .	2,24	—
Longueur d'un compartiment fauteuil-lit. .	1,82	—
Hauteur intérieure au milieu	2,083	—
Nombre d'essieux par bogie.	2	
Écartement des essieux d'un bogie	2,35	m.
Écartement d'axe en axe des bogies. . . .	15,03	—
Poids mort (y compris eau et combustible) .	36 565	kg.
Nombre de places.	48	
Poids mort par place offerte	760	kg.

VOITURE A LITS-SALONS

Cette voiture (fig. 524) est montée sur trois essieux. Elle renferme trois compartiments communiquant chacun avec un cabinet de toilette water-closet ; deux de ces compartiments peuvent à volonté communiquer entre eux ou être isolés

l'un de l'autre. Chaque compartiment renferme trois sièges pouvant être transformés en lits par le rabattement du dossier.

La voiture est munie :

Du frein continu à air comprimé ;

Du chauffage par thermo-siphon ;

De l'éclairage au gaz d'huile ;

De l'intercommunication électrique et pneumatique.

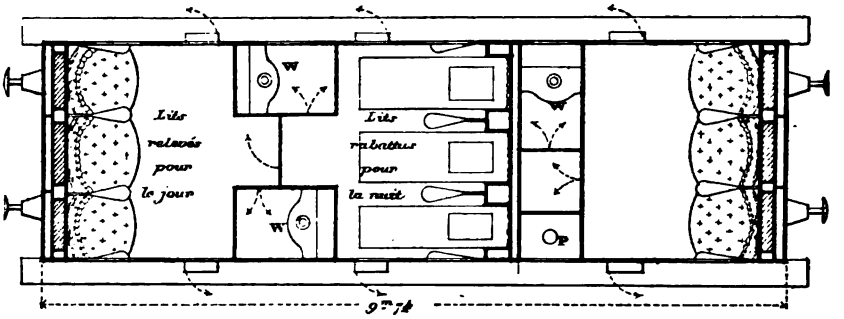


Fig. 524. — Voiture à lits-salons. Compagnie P.-L.-M. $\left(\frac{1}{100}\right)$.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur de la caisse	9,740 m.
Largeur intérieure	2,58 —
Longueur d'un compartiment	2,306 —
Hauteur intérieure au milieu	2,283 —
Écartement des essieux extrêmes	5,900 —
Poids mort (y compris eau et combustible)	18 293 kg.
Nombre de places	9
Poids mort par place offerte	1 962 kg.

VOITURE DE 1re CLASSE AA

Cette voiture est montée sur trois essieux. Elle renferme quatre compartiments de huit places chacun. Elle est munie du frein continu, agissant sur les quatre roues extrêmes, de l'éclairage au gaz d'huile, de l'intercommunication électrique et pneumatique.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur de la caisse	9,10 m.
Largeur extérieure	2,80 —
Longueur d'un compartiment	2,24 —
Hauteur intérieure au milieu	2,083 —
Écartement des essieux extrêmes	5,90 —
Poids mort	14 260 kg.
Nombre de places	32
Poids mort par place offerte	445 kil.

VOITURE DE 3e CLASSE CC

Cette voiture est montée sur trois essieux. Elle renferme cinq compartiments de dix places chacun ; celui du milieu est fermé et les quatre autres communiquent deux à deux par leur partie supérieure. Elle est munie du frein continu, de l'éclairage au gaz d'huile, de l'intercommunication électrique et pneumatique, de poignées intérieures permettant d'ouvrir et de fermer les portières de l'intérieur sans être obligé de baisser les glaces.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

Longueur de la caisse.	7,95 m.
Largeur extérieure	2,80 —
Longueur d'un compartiment	1,56 —
Hauteur intérieure au milieu	2,135 —
Écartement des essieux extrêmes.	4,300 —
Poids mort	10 890 kg.
Nombre de places	50 —
Poids mort par place offerte.	217 kg.

RÉSEAU DE L'ÉTAT

Le matériel roulant, adopté par le réseau de l'État au moment de sa constitution pour remplacer le matériel fort défectueux provenant des petits réseaux rachetés, a figuré à l'Exposition de Bordeaux en 1882 : il a été étudié en vue de réunir, comme confortable, la plus grande partie des améliorations introduites à ce moment dans le matériel des grandes compagnies.

Les voitures des trois classes de la série X comportent :

Un double plafond et un double plancher ;

Des portières dont les serrures sont à fermeture automatique avec pène de sûreté, qu'on peut faire jouer de l'intérieur du compartiment, de manière à éviter les accidents dus aux portières mal fermées ;

L'éclairage au gaz comprimé système Pintsch[1] ;

Le chauffage au moyen de bouillottes à acétate de soude[2] ;

Le frein continu à air comprimé.

La voiture de 1re classe comporte trois compartiments de six places chacun. Chaque banquette est formée de trois stalles avec accoudoirs, les deux accoudoirs du milieu étant mobiles.

La voiture de 2e classe comprend quatre compartiments de huit places chacun, chaque banquette présentant deux stalles doubles, séparées par un

[1] Voir au présent chapitre, § 5.

[2] Voir au présent chapitre, § 6.

accoudoir mobile. Les sièges sont garnis et rembourrés ainsi que les dossiers; ils sont, en outre, munis de ressorts en spirale comme ceux des voitures de 1re classe.

La voiture de 3e classe renferme cinq compartiments de dix places chacun, avec accoudoirs, dans les angles. Les sièges et les dossiers sont garnis en crin, recouvert d'une étoffe spéciale en cuir caoutchouté. Les compartiments ne sont pas complètement isolés : les cloisons de séparation s'arrêtent à peu près à la hauteur des portières. Des planchettes faisant office de filets sont placées à la partie supérieure des cloisons.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX

	1re classe.	2e classe.	3e classe.
Longueur de la caisse	6,710 m.	7,600 m.	7.600 m.
Largeur extérieure.	2,620 —	2,620 —	2,620 —
Longueur d'un compartiment.	2,209 —	1,872 —	1,490 —
Hauteur intérieure au milieu .	2,143 —	2,143 —	2,143 —
Écartement des essieux. . . .	3,75 —	3,75 —	3.75 —
Poids mort	9 850 kg.	10 050 kg.	9 770 kg.
Nombre de places	18	32	50
Poids mort par place offerte. .	547 kg.	314 kg.	195 kg.
Prix de la voiture.	16 850 fr.	13 175 fr.	9 750 fr.

Ce matériel qui représentait en 1879, au moment où il a été construit, un progrès considérable sur le matériel du type courant des compagnies des chemins de fer, a lui-même été remplacé depuis un certain nombre d'années sur les lignes importantes du réseau par des voitures de la série XX qui offrent des conditions de confortable bien supérieures et dont les éléments principaux sont les suivants :

		1re classe.	2e classe.	3e classe.
Dimensions intérieures de la caisse.	Longueur . .	11,830 m.	12,064 m.	12,790 m.
	Largeur . . .	2,720 —	2,73 —	2,73 —
	Hauteur . . .	2,233 —	2,233 —	2,233 —
Écartement des essieux. . . .		7,750 —	7,900 —	8,200 —
Poids mort		15 350 kg.	15 600 kg.	12 790 —
Nombre de compartiments . .		8	6	5
Nombre de places		32	50	66
Poids mort par place offerte .		480 kg.	312 kg.	194 kg.

Toutes ces voitures comportent, comme celle que représente la figure 517, le couloir partiel, water-closet, lavabo et compartiments extrêmes séparés.

Voitures de l'Europe centrale. — Sur les chemns de fer de l'Europe centrale, les voitures comportent quatre classes de voyageurs : la 1re, d'un prix élevé, est une classe de luxe peu employée, les autres sont

(Echelle de 0,015 par mètre).

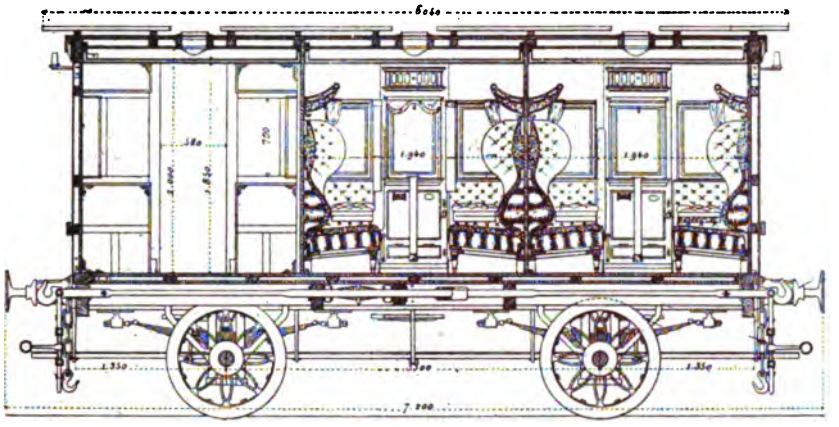


Fig. 525. — Voiture de 1re et 2e classe.
Coupe longitudinale.

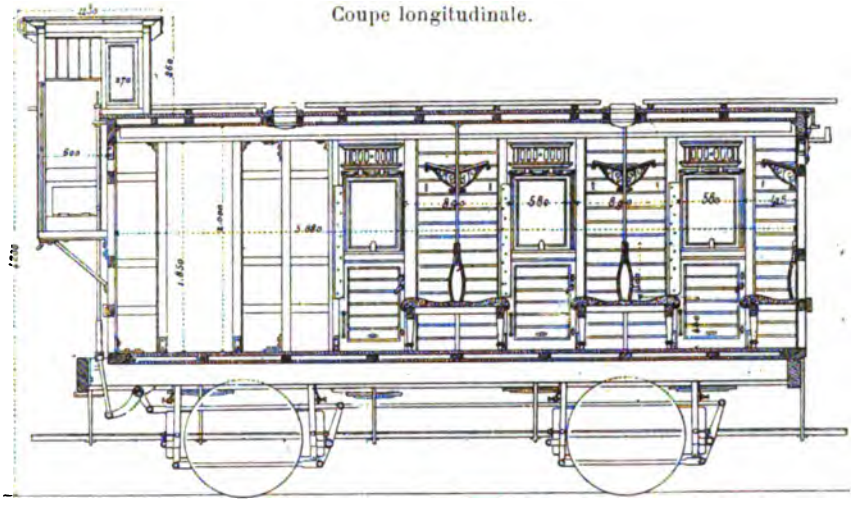


Fig. 526. — Voiture de 3e classe. Coupe longitudinale.

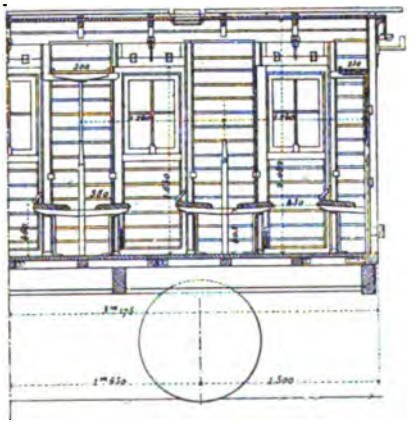


Fig. 527. — Voiture de 4e classe. Coupe longitudinale.

pratiquées par les différentes catégories de voyageurs, comme dans les autres pays.

Les figures 525 à 527, empruntées au Traité de M. Goschler, montrent les dispositions des anciennes voitures de l'État hongrois, construites vers 1875.

Les dimensions intérieures des compartiments sont les suivantes :

	1re classe.	2e classe.	3e classe.	4e classe.
Longueur (distance entre les cloisons). . .	1,94 m.	1,94 m.	1,47 m.	1,24 m.
Largeur.	2,40 —	2,40 —	2,40 —	2,42 —
Hauteur.	2, —	2, —	2 —	2, —

Comme il y a six places par compartiment en 1re classe, huit places en 2e et dix places en 3e et en 4e classe, il en résulte que l'espace attribué à chaque voyageur est le suivant :

	1re classe.	2e classe.	3e classe.	4e classe.
Longueur.	0,97 m.	0,97 m.	0,735 m.	0,620 m.
Largeur.	0,80 —	0,60 —	0,480 —	0,484 —

Quant à la garniture des compartiments, elle est également très variable, suivant les classes :

En 1re classe, double plafond garni, coussins et dossiers à ressorts, parois en velours rembourrées jusqu'à hauteur d'homme avec deux accotoirs de tête pour chaque place, accoudoirs mobiles, rideaux, filets et miroirs ; en un mot, confortable aussi complet que possible.

En 2e classe, double plafond garni, coussins et dossiers rembourrés comme en 1re, mais avec parois en drap, un seul accotoir de tête et un seul accoudoir mobile par voyageur, rideaux et filets, mais pas de miroirs ; en somme, bon confortable.

En 3e classe, double plafond en voligeage, bancs et dossiers en planches avec une légère courbure épousant à peu près la forme du corps, tablettes pour les bagages ; installation médiocre.

Enfin en 4e classe, de simples bancs en planches adossés deux à deux avec une traverse en bois formant dossier, tablettes pour les bagages, pas de cloisons séparatives ; en somme, installation très rudimentaire, mais qui suffit, par suite du bon marché, pour assurer aux populations des campagnes des relations commodes avec les villes.

Sur certains réseaux, les coussins des banquettes de 1re classe sont mobiles sur leur châssis et peuvent être amenés vers l'axe du compartiment, de manière à augmenter la profondeur du siège et sa commodité pour le voyageur.

Des places de luxe existent également, comme sur les lignes françaises.

Matériel anglais.— Les voitures des compagnies anglaises, qui comportent trois classes comme les nôtres, ont été pendant longtemps fort défectueuses à tous les points de vue.

« Si, abstraction faite du principe, un matériel a pu être fortement critiqué, dit M. Couche [1], c'est certes celui des chemins anglais. L'exiguïté des places, même de première classe, était extrême ; et la simplicité vraiment spartiate des secondes, dépourvues de toute garniture, était poussée à un tel point que, depuis la suppression des voitures découvertes et sans banquettes, ou tombereaux, on était aux expédients pour établir des compartiments de 3e classe qui fussent inférieurs à ceux de 2e classe, sans cesser d'être rigoureusement praticables. On s'en tirait en refusant aux voyageurs l'air, l'espace et la lumière. »

Depuis que les lignes ci-dessus ont été écrites, le matériel anglais s'est beaucoup amélioré. Les voitures sont maintenant plus hautes et plus spacieuses ; sur certaines lignes le confortable est même plus grand que sur le continent. En outre, quelques compagnies ont adopté les voitures, dites *Pulman*, du nom de leur inventeur américain, grandes voitures à salon, à dortoir et à restaurant, portées, comme en Amérique, par deux trucks indépendants l'un de l'autre.

La compagnie du Midland-Railway a fait construire des voitures mixtes des classes 1re et 3e, portées sur deux trucks à six roues chacun, et contenant trois compartiments de 1re classe, quatre de 3e classe, et un compartiment où les voyageurs peuvent déposer leurs bagages [2]. Il y a six places en 1re et dix en 3e ; voici les dimensions des compartiments et l'espace affecté à chaque voyageur. (La longueur totale du châssis est de 16,28 m.)

	1re classe.	3e classe.
Longueur (distance entre les cloisons)	2,21 m.	1,79 m.
Largeur	2,26 —	2,269 —
Hauteur	2,16 —	2,16 —

Soit pour chaque voyageur :

Longueur	1,105 m.	0,895 m.
Largeur	0,75 —	0,452 —

Les garnitures des compartiments sont analogues à celles des bonnes voitures françaises.

Véhicules spéciaux. — Indépendamment des voitures ordinaires et de luxe dont nous avons parlé, on rencontre encore dans les trains de voyageurs

[1] Couche, t. II.
[2] Goschler, t. III.

un certain nombre de véhicules ayant une destination spéciale; ce sont par exemple les fourgons à bagages, les bureaux ambulants de la poste, les wagons-écuries, etc.

Fourgons à bagages. — Ce sont des wagons couverts, dans lesquels s'installe le chef de train ou le conducteur chargé du service des bagages et de la messagerie. Les parois latérales de ces wagons comportent deux larges ouvertures fermées par des portes à coulisse. Des niches sont ménagées à chaque extrémité des fourgons pour le transport des chiens soumis à la taxe et séparés de leurs propriétaires.

Ces véhicules se rapprochent beaucoup des wagons couverts à marchandises, dont nous parlons plus loin; ils n'en diffèrent que par le train, qui est analogue à celui des voitures à voyageurs.

Les petits fourgons à bagages pèsent de 6 500 à 7 500 kilogrammes; ils peuvent recevoir un chargement de 5 000 kilogrammes environ. On construit aujourd'hui, pour le service des trains express et rapides, de grands fourgons qui pèsent 11 à 12 tonnes et dont les grandes dimensions facilitent le service des bagages.

Bureaux ambulants. — Les transports du service de la poste sont faits, en France, dans des conditions qui sont réglées de la manière suivante par l'article 59 du cahier des charges :

« 1° A chacun des trains de voyageurs et de marchandises circulant aux heures ordinaires de l'exploitation, la compagnie sera tenue de réserver gratuitement deux compartiments spéciaux d'une voiture de 2e classe, ou un espace équivalent, pour recevoir les lettres, les dépêches et les agents nécessaires au service des postes, le surplus de la voiture restant à la disposition de la compagnie.

« 2° Si le volume des dépêches ou la nature du service rendent insuffisante la capacité de deux compartiments à deux banquettes, de sorte qu'il y ait lieu de substituer une voiture spéciale aux wagons ordinaires, le transport de cette voiture sera également gratuit.

« 3° Un train spécial régulier, dit *train journalier de la poste*, sera mis gratuitement chaque jour, à l'aller et au retour, à la disposition du ministre des Finances, pour le transport des dépêches sur toute l'étendue de la ligne. »

Ce sont ces *voitures spéciales*, mises en circulation par l'administration des postes, qu'on désigne sous le nom de *bureaux ambulants*. D'après le même article 56 du cahier des charges (§ 9), c'est cette administration qui fait construire à ses frais ces voitures, et qui en règle la forme et les dimensions, sauf approbation par le ministre des Travaux publics, des dispositions qui intéressent la régularité et la sécurité de la circulation. L'administration des postes les fait entretenir à ses frais; toutefois l'entretien des châssis et des roues est à la charge de la compagnie.

L'aménagement intérieur des bureaux ambulants, entièrement laissé à l'administration des postes, est conçu de manière à permettre, pendant le

temps du trajet toutes les manipulations qui précèdent la distribution du courrier.

D'après les instructions de l'administration des postes l'accès des bureaux ambulants est formellement interdit, non seulement aux voyageurs, mais encore aux employés de la compagnie eux-mêmes. En outre, les agents de ces bureaux ne peuvent se charger, soit à titre onéreux, soit à titre gratuit, d'aucune commission, ni se livrer à aucune entreprise commerciale. Ils sont tenus de recevoir à la main, dans toutes les stations que desservent leurs trains, toutes les lettres qui pourront leur être remises par une personne quelconque qui aura pénétré à l'intérieur de la gare. D'ailleurs, une boîte aux lettres est installée à la portière des bureaux ambulants pour servir aux employés de la compagnie, ainsi qu'aux voyageurs.

Wagons-écuries. — Le transport des chevaux de prix, qui se fait à grande vitesse dans les trains de voyageurs, nécessite l'emploi de véhicules spéciaux qu'on appelle wagons-écuries. Ce sont des wagons couverts, dans lesquels les chevaux peuvent se trouver placés soit en long, soit en travers.

Dans le premier cas, on ne peut guère installer dans un wagon que trois stalles pour les chevaux et un compartiment de service pour leur conducteur. Quand on place au contraire les chevaux en travers du wagon, position qui ne paraît pas leur être plus défavorable que la précédente, on peut utiliser beaucoup mieux la surface offerte par le matériel.

Ainsi, les wagons-écuries de la compagnie de l'Ouest, dont la caisse a 5,84 m. de longueur, contiennent six stalles pour les chevaux et un compartiment au milieu pour le conducteur. Les séparations des stalles sont fixes : l'entrée et la sortie des chevaux se font par des portes ménagées dans les parois longitudinales des wagons, en face de chaque stalle.

Nombre et écartement des essieux. — La grande majorité des voitures du système anglais est portée par deux essieux. En France, ce n'est que sur le réseau P.-L.-M. qu'on trouve des voitures à trois essieux; en Allemagne, où ces voitures ont été très nombreuses à l'origine des chemins de fer, leur nombre va toujours en diminuant. On les trouve encore en Russie. On a fait valoir, en faveur de l'adoption des wagons à six roues, d'une part, la possibilité de faire des caisses plus grandes et d'augmenter le poids utile, d'autre part, la plus grande stabilité et le meilleur roulement de ces véhicules et le supplément de sécurité qu'elles procurent en cas de rupture d'essieux.

En fait, le premier argument ne paraît pas avoir une grande portée, car on ne voit pas que les voitures à six roues du P.-L.-M. aient une plus grande longueur que les nouvelles voitures à grand écartement d'essieux des autres réseaux français; d'ailleurs, la distance des essieux extrêmes étant limitée

par les courbes du tracé, on ne peut pas allonger les caisses au delà d'une certaine limite. D'un autre côté, ce qu'il importerait d'augmenter, ce n'est pas le poids utile, mais le rapport du poids utile au poids mort ; or, c'est ce qu'on ne fait pas dans le matériel à six roues ; et on a raison de ne pas le faire. En effet, dans un wagon à quatre roues, la répartition du poids entre les deux essieux est complètement déterminée ; quand le chargement est uniforme, son poids se partage par moitié entre chaque paire de roues. Au contraire, dans une voiture à six roues, la répartition est indéterminée, comme dans tout solide reposant sur trois appuis, et il peut se faire, dans certains cas, que l'un des essieux ait à porter beaucoup plus que le tiers du poids total. Il serait donc imprudent de charger chacun des essieux d'une voiture à six roues autant que ceux d'une voiture à quatre roues.

Le second argument, tiré de la stabilité et du meilleur roulement, ne paraît pas non plus bien topique. Il est d'ailleurs très contesté. Quant au supplément de sécurité en cas de rupture d'essieux, il est réel ; mais, à quoi bon introduire dans un train un essieu de plus par wagon, ce qui a nécessairement pour effet d'augmenter de 50 p. 100 les chances de ruptures, puisque c'est dans cette proportion qu'on augmente le nombre des essieux ?

En somme, on préfère en général les voitures à quatre roues ; elles sont mieux équilibrées, plus faciles à manœuvrer ; elles offrent moins de résistance au passage dans les courbes et, quand l'écartement des essieux est suffisamment grand, elles ont tout autant de régularité dans la marche que les voitures à six roues.

Dans sa réunion de Stuttgard (1878), l'Union des chemins de fer allemands s'est prononcée nettement en faveur des voitures à deux essieux ; elle a en effet émis l'avis que ces voitures, bien construites, bien suspendues et bien entretenues, ne le cèdent en rien aux voitures à six roues sous le rapport de la sécurité de l'exploitation.

En ce qui concerne l'écartement des essieux extrêmes, cette même association a fixé comme il suit, dans sa réunion de Gratz (1882), le maximum à adopter, eu égard aux courbes du tracé ; elle a décidé que, pour les lignes qui contiennent en pleine voie beaucoup de courbes, il convient, en vue de ménager le matériel, de ne pas dépasser un écartement maximum des essieux de :

3,70 m.	pour des	courbes	d'un rayon de	. . . . .	180 m.
4,50 —	—	—	—	. . . . .	200 —
5 —	—	—	—	. . . . .	300 —
5,60 —	—	—	—	. . . . .	400 —
6,20 —	—	—	—	. . . . .	500 —
5,80 —	—	—	—	. . . . .	600 —
7, —	—	—	—	. . . . .	plus de 600 m.

Elle a ajouté que la sécurité de l'exploitation n'était pas menacée si l'on admettait un plus grand écartement des essieux, savoir jusqu'à :

4 m.	pour des courbes	d'un rayon de	. . . . .	180 m.
5 —	—	—	. . . . .	250 —
6 —	—	—	. . . . .	300 —
7 —	—	—	. . . . .	400 et plus.

D'ailleurs, si un véhicule a plus de deux essieux et que l'écartement des essieux extrêmes dépasse 4 mètres, il faut donner à l'essieu du milieu un jeu latéral suffisant en vue des courbes de 180 mètres. Enfin, il faut éviter de donner aux essieux des véhicules un écartement inférieur à 2,50 m. ou supérieur à 4 mètres.

§ 3. — DESCRIPTION DU MATÉRIEL A CIRCULATION INTÉRIEURE

Voitures américaines. — En principe, il n'existe sur les chemins de fer des États-Unis qu'une seule classe de voitures, dont le type se compose, ainsi que nous l'avons dit, d'une longue caisse, sans divisions intérieures, portée par deux trains articulés de quatre roues chacun. Ces voitures forment une sorte de salle commune, ayant deux entrées, une à chaque extrémité, et dans laquelle sont disposés deux rangs de sièges placés transversalement à l'axe de la voiture et séparés par un couloir qui va d'un bout à l'autre de la caisse, comme l'indique la figure 528.

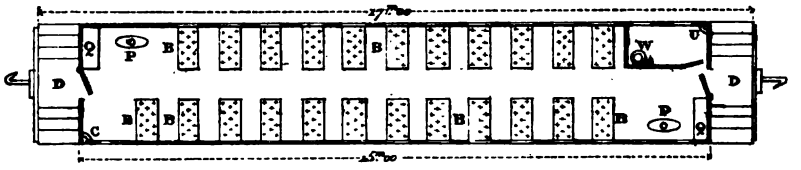


Fig. 528. — Matériel américain. Wagon ordinaire. Ligne de Philadelphie à Baltimore.

Les banquettes B contiennent deux places chacune ; aux extrémités de la voiture se trouve des poêles P et des coffres à charbon Q. C est une fontaine d'eau, généralement glacée, qu'on trouve dans toutes les voitures américaines. Enfin, dans un angle se trouve logé un water-closet avec urinoir. Les paliers extérieurs D sont recouverts par le toit de la voiture et comportent deux escaliers avec main courante pour en permettre l'accès.

De nombreuses fenêtres, percées en face de chaque banc, introduisent abondamment l'air et la lumière. Les sièges sont rembourrés et généralement recouverts en velours de coton, sauf les voitures spéciales d'été ; ils sont munis de dossiers réversibles, que le conducteur place généralement de manière que tous les voyageurs soient tournés vers l'avant du train.

Des porte-manteaux garnissent les parois longitudinales de la voiture; des persiennes et des rideaux existent aux fenêtres. Enfin, pour faciliter la ventilation et l'éclairage, la partie centrale du toit se trouve surélevée et forme un lanterneau, qui règne sur toute la longueur de la voiture avec une largeur de 1,35 m. environ.

Les caisses ont habituellement de 12 à 18 mètres de longueur, 2,70 m. à 3 mètres de largeur et 1,80 m. à 2,25 m. de hauteur (non compris le lanterneau); la largeur de chaque banc dans le sens transversal est d'environ 1 mètre, de sorte que chaque voyageur dispose de 0,50 m. de largeur de siège à peu près.

La voiture ainsi constituée, contenant 50 à 60 voyageurs, forme le type normal de la voiture des chemins de fer américains; mais il s'en faut de beaucoup qu'elle soit la seule à circuler sur les différentes lignes. Les compagnies ont tourné le principe de la classe unique de voyageurs de plusieurs manières.

En premier lieu, elles ont installé des voitures, dites d'immigrants, dans lesquelles les banquettes sont en bois et d'où le confortable est absent, et qui leur permettent de transporter à des prix très réduits les populations pauvres qui vont coloniser les pays encore peu peuplés.

D'un autre côté, elles ont adopté, pour donner satisfaction à la partie riche de leur clientèle, des voitures de luxe, où les voyageurs trouvent moyennant un supplément de taxe plus ou moins important, des installations très confortables sous forme de *wagons-salons*, de *wagons-hôtels*, de *wagons-lits*, qui circulent sur la plupart des lignes.

Les voitures de luxe appartiennent soit à la compagnie *Pulman*, qui en a été le propagateur, soit à des compagnies spéciales indépendantes des compagnies de chemins de fer, et qui prélèvent sur les voyageurs le supplément de tarif correspondant.

Les figures 529 et 530 représentent la distribution en plan d'un wagon-salon et d'un wagon-hôtel, contenant restaurant et cuisine.

Dans le premier, S est un salon avec un certain nombre de fauteuils; C C sont des compartiments clos à quatre places, C′ C′ des compartiments à six places, L un lavabo.

Il existe un grand nombre d'autres types de wagons-salons, plus ou moins luxueusement aménagés, avec fumoir, bibliothèque, buffet, lavabo pour hommes et pour dames.

Lo wagon-hôtel de la figure 530 renferme, indépendamment des banquettes à deux places, BB, des compartiments à cinq places C′C′, un lavabo L, un fumoir F, une cuisine V, enfin toutes les installations permettant aux voyageurs de prendre les trois repas ordinaires de la journée. Les domestiques, attachés (indépendamment des cuisiniers) au service de cette voiture,

ont leurs sièges spéciaux en B'. R est un appareil de chauffage plus ou moins perfectionné suivant les compagnies.

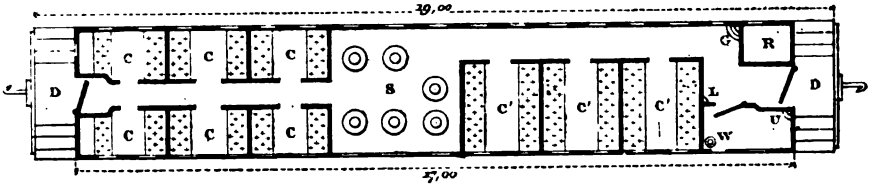


Fig. 529. — Matériel américain. Wagon à salon et à compartiments clos. Ligne de Philadelphie à Baltimore.

Ces wagons-hôtels sont remplacés la nuit par un certain nombre de wagons-lits, installés avec le même confortable, et dans lesquels les voyageurs trouvent tout ce qui est nécessaire à leur sommeil.

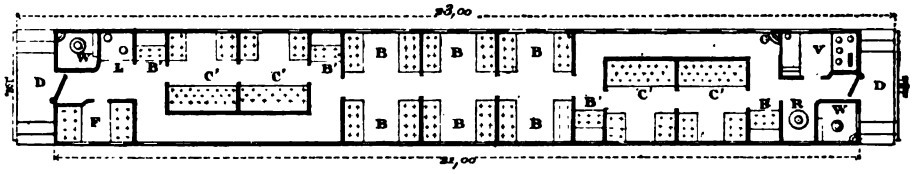


Fig. 530. — Matériel américain. Wagon-hôtel (New-York central).

On peut donc dire qu'en réalité il y a, en Amérique comme en France, trois classes de voitures à voyageurs, savoir :

1° La 1re classe, ou classe de luxe, représentée par les wagons-salons, installés avec un grand confortable ;

2° La 2e classe, qui est la classe normale, représentée par les voitures du type ordinaire ;

3° La 3e classe, formée par les voitures d'émigrants.

Enfin, les wagons-lits pour la nuit et les wagons-hôtels pour le jour, constituent les annexes nécessaires aux classes supérieures indiquées ci-dessus[1].

L'ensemble de ces dispositions réalise incontestablement des conditions de confort bien supérieures à celles que l'on trouve, en général, sur les lignes européennes et l'adoption de ce matériel est due, en Amérique, à un ensemble de circonstances qui le rendaient, pour ainsi dire, indispensable.

En premier lieu, les voyages y sont extrêmement longs ; il en est qui durent cinq ou six jours (celui de New-York à San-Fransisco, par exemple, qui correspond à un trajet de 5,340 kilomètres), et, sur ces longs parcours, les arrêts sont très rares et il n'existe que très peu d'endroits où les voyageurs pourraient trouver ce qui est nécessaire à leur nourriture, à leur som-

[1] Nous empruntons cette assimilation à M. Bandérali. — Note sur l'appropriation du matériel américain au service de certains trains express des réseaux européens. — *Revue générale*, novembre 1886.

meil, etc. Il était donc indispensable de réunir dans le train même, comme on le fait sur un navire, toutes les installations nécessaires à une existence en commun pendant plusieurs jours. Cela ne pouvait se faire, bien entendu, qu'à la condition d'adopter des voitures très longues, qu'on devait, dès lors, faire reposer sur deux trucks articulés, afin de leur donner la possibilité de s'inscrire dans les courbes des tracés, généralement plus raides que celles que l'on trouve en Europe. La disposition de ces trucks, composés en général de deux essieux parallèles entre eux, mais qui en comportent quelquefois trois et même quatre, est donc, au même titre que la disposition intérieure des caisses, un élément tout à fait caractéristique du matériel américain ; nous nous en occuperons ultérieurement, quand nous parlerons des dispositions destinées à faciliter le passage du matériel dans les courbes [1]. Mais nous devons faire connaître dès maintenant une conséquence importante de l'adoption de ce mode de suspension des wagons en Amérique, qui est une atténuation très notable de l'effet des inégalités de la voie.

On comprend, en effet, que dans le matériel à faible écartement d'essieux les extrémités des caisses présentent un certain porte-à-faux, qui a pour effet de faire sentir aux voyageurs les différentes imperfections que peut présenter la voie sur laquelle il roule ; dans le matériel porté sur deux trucks, cet effet est beaucoup moins sensible, attendu que les chevilles ouvrières de ces trucks peuvent être placées très près des extrémités de la caisse, ce qui diminue par conséquent la longueur des parties en surplomb. Cette disposition était donc particulièrement appropriée aux lignes américaines, dont les voies sont loin d'être posées, surtout au début, avec la même perfection que les voies européennes.

Nous verrons cependant, et c'est une remarque assez curieuse à faire, que c'est ce même matériel, dont l'adoption a été commandée en Amérique par l'état défectueux des voies et les conditions particulières des voyages, qui remplace aujourd'hui le matériel anglais dans les grands express europeéns, circulant sur des voies parfaitement entretenues et à travers des contrées qui ne ressemblent nullement aux grandes plaines de l'Amérique du Nord.

Poids des voitures américaines. — Les longues voitures américaines pèsent naturellement beaucoup plus que les nôtres, tant à cause de leur supplément de longueur qu'à cause de leurs installations plus complètes ; aussi, le poids mort par place offerte y est-il plus considérable que dans le matériel anglais. Dans les voitures du type ordinaire, ce poids est, en moyenne, de 300 kilogrammes par place ; il atteint 700 à 900 kilogrammes pour les voitures de luxe [2].

[1] Voir chap. v.

[2] On trouvera, dans le mémoire de M. Gapiot, *Les Chemins de fer américains* (*Annales des Mines*, 1906 et 1907) des renseignements récents sur les dispositions du matériel américain.

Matériel suisse. —Les voitures employées sur les chemins de fer suisses ont été établies dans un système mixte qui a pour but de réunir aux avantages des voitures américaines les facilités que procurent celles du système anglais.

Nous représentons à titre de spécimen (fig. 531) une voiture mixte de 1re

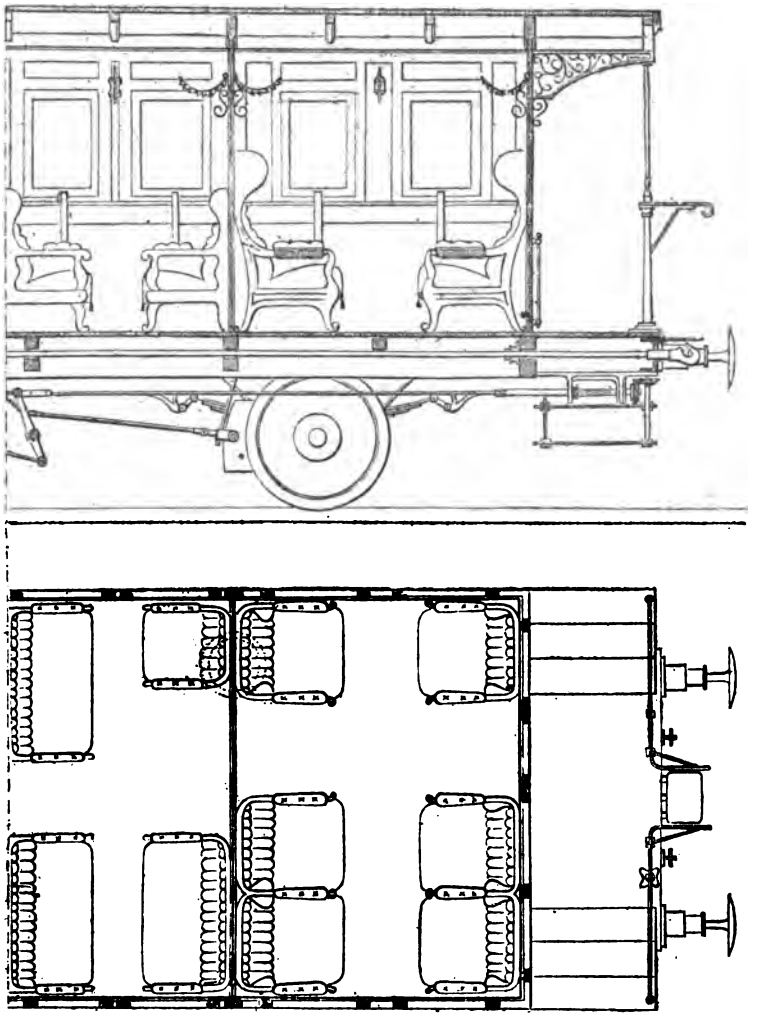


Fig. 531. — Voiture mixte, 1re et 2e classe, du Nord-Est suisse (Echelle $\frac{1}{50}$).

et 2e classe, adoptée par la compagnie du Nord-Est Suisse. La caisse a une faible longueur (8,50 m,) et elle repose sur deux essieux parallèles comme dans le matériel anglais ; la distance des essieux est de 4 mètres. La caisse est divisée en deux compartiments qui communiquent entre eux par une porte ménagée dans la cloison ; le plus petit de ces compartiments renferme six fauteuils de 1re classe, l'autre contient des banquettes formant vingt-trois

places de seconde classe. En outre, des plates-formes existent à chaque extrémité avec des escaliers latéraux, comme dans le matériel américain.

Ce type de voiture convient très bien à la nature des voyages en vue desquels il a été créé ; en Suisse les trajets sont courts ; ils se font à faible vitesse, à travers un pays extrêmement pittoresque, et il n'y a pas de service de nuit, sauf pour les trains internationaux. Il est donc tout naturel de mettre à la disposition des voyageurs un matériel qui leur permet d'aller et de venir d'un bout à l'autre de la voiture pour admirer le paysage qu'ils traversent.

Mais ce matériel, malgré les perfectionnements dont il a été l'objet depuis quelques années, manque du confortable nécessaire pour les voyages de nuit ; il a en outre l'inconvénient d'un poids mort très élevé.

Il a été adopté, à peu de chose près, sur les chemins de fer d'intérêt local à voie étroite et sur les tramways, ce qui montre bien qu'il est tout à fait approprié aux petites lignes et aux petits trajets.

Applications du matériel américain en Europe. — Indépendamment de l'adoption qui a été faite sur certains chemins de fer (en Russie par exemple) de voitures plus ou moins analogues aux véhicules américains au point de vue de la distribution intérieure, on fait actuellement en Europe une application importante du matériel américain aux trains express de grand parcours, soit pour les relations internationales, soit pour les longs trajets sur un même réseau.

C'est ainsi que la Société internationale des wagons-lits a fait circuler pour la première fois en octobre 1882, entre Paris et Vienne, un train de luxe composé de quatre wagons-lits, d'un wagon-restaurant et de deux fourgons à bagages. Les quatre wagons-lits se composaient de trois voitures à trois essieux, contenant chacune quatorze places et pesant 15 tonnes, et d'une grande voiture américaine à deux bogies, contenant seize places et pesant 22 tonnes. Toutes les voitures à lits étaient à compartiments séparés, mais desservis par un couloir longitudinal disposé sur un des côtés de la voiture et permettant de circuler librement d'un bout à l'autre du train.

Des wagons-lits ou *sleeping-cars* et des wagons-restaurants appartenant au système américain circulent également dans les trains rapides à grands parcours des différents réseaux français. On y trouve aussi, indépendamment des voitures de luxe dont l'accès n'est permis qu'aux voyageurs qui payent une surtaxe, des voitures de 1re classe à intercirculation, qui ont été mises en service en 1889 et qui réunissent des conditions de confortable bien supérieures à celles du matériel du type ancien. Des voitures de ce genre existent actuellement sur tous les grands réseaux français.

Nous citerons à titre d'exemple, la grande voiture à couloir latéral de

la compagnie d'Orléans et les deux voitures de la compagnie P.-L.-M. à couloir brisé et à couloir central. Ces trois voitures figuraient à l'Exposition universelle de Paris, en 1889.

La première, destinée au service des trains rapides de jour sur la ligne de Paris à Bordeaux, comprend sept compartiments fermés de six places chacun, desservis par un couloir latéral régnant sur toute la longueur de la voiture. Elle est portée sur deux trucks à quatre roues et n'est accessible, comme les voitures américaines, que par les deux plates-formes des extrémités. Dans les trains où elle circule, elle est reliée par une passerelle fermée avec le wagon-restaurant, de manière à permettre aux voyageurs de passer d'une voiture dans l'autre pendant la marche. Un agent de la compagnie, chargé spécialement du service de cette voiture, se place dans une stalle située à une des extrémités. Les éléments principaux de la voiture sont indiqués ci-dessous :

Longueur totale à l'extrémité des tampons	20,190 m.
Longueur de la caisse, non compris les plates-formes	17,050 —
Largeur extérieure	3 —
Longueur d'un compartiment	2,150 —
Largeur —	2 —
Hauteur intérieure au milieu	2,25 —
Largeur du couloir	0,758 —
Ecartement des essieux des bogies	2,800 —
Écartement d'axe en axe des bogies	11,240 —
Poids mort de la voiture	33 000 kg.
Nombre de places	42
Poids mort par place offerte	786 kg.

La voiture renferme deux cabinets de toilette, l'un pour les dames, l'autre pour les hommes, situés à chaque extrémité ; elle est éclairée par des lampes Shallis et Thomas et chauffée au moyen de deux poêles à thermosyphon avec chaufferettes fixes dans les compartiments [1].

Les deux grandes voitures de la compagnie P.-L.-M. sont également montées sur deux bogies. L'une (fig. 532) renferme huit compartiments de 1re classe de six places chacun, où l'on accède par un couloir intérieur brisé ; un lanterneau, muni de châssis vitrés mobiles, règne au-dessus de tous les compartiments et leur donne du jour et de l'air.

L'autre voiture (fig. 533) est à couloir central. Elle contient quarante-sept places, dont seize sont renfermées dans quatre compartiments de quatre places chacun, deux à chaque extrémité de la voiture. Les trente et une autres places ne sont séparées par aucune cloison. Un lanterneau règne sur toute la longueur de la partie centrale de la voiture.

[1] Dans les voitures plus récentes du même type, on trouve généralement l'éclairage électrique et le chauffage à la vapeur. C'est ainsi que sont aménagées les grandes voitures à intercirculation de 1re, 2e et 3e classe du réseau de l'Etat.

Chacune de ces voitures est éclairée au gaz d'huile et chauffée au moyen

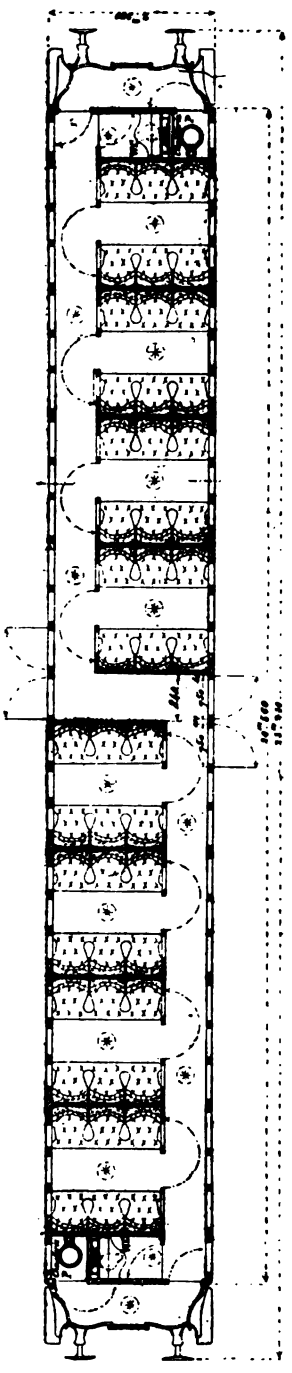


Fig. 532. — Voiture de 1re classe à intercirculation avec huit compartiments fermés et couloir brisé. A-203. Compagnie P.-L.-M.

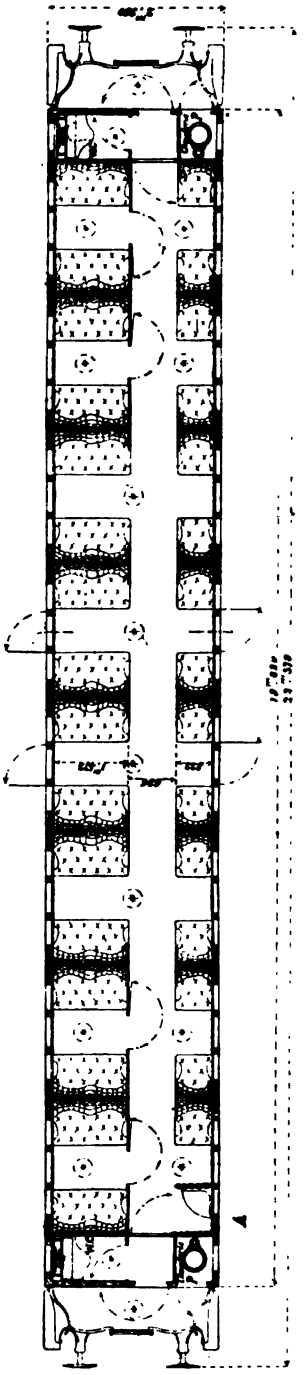


Fig. 533. — Voiture de 1re classe à intercirculation avec couloir central. A-223. Compagnie P.-L.-M.

des deux poêles à thermo-syphon. On y accède, d'une part, au moyen des deux plates-formes des extrémités et aussi par deux portières avec marche-

pieds se développant automatiquement et placées sur chaque face de la voiture vers le milieu de sa longueur ; on a ainsi quatre entrées sur chaque grand côté, ce qui permet la montée et la descente rapides des voyageurs.

Dans la voiture de la figure 533, une stalle à une place (A) a été prise pour loger l'agent de la compagnie qui est chargé du service de la voiture.

Nous indiquons ci-dessous les éléments principaux des deux voitures dont il s'agit :

	Voiture A-203.	Voiture A-223.
Longueur totale à l'extrémité des tampons	23,25 m.	22,37 m.
Longueur de la caisse (non compris les plates-formes)	20,56 —	19,68 —
Largeur extérieure	2,99 —	2,99 —
Longueur d'un compartiment	2,24 —	2,24 —
Largeur d'un compartiment	2 —	»
Hauteur intérieure au milieu. dans la partie au-dessous du lanterneau	2,522 m.	2,523 m.
Hauteur intérieure au milieu. dans la partie sans lanterneau	2,023 —	2,158 —
Largeur du couloir	0,740 —	0,696 —
Écartement des essieux des bogies	2,350 —	2,350 —
Écartement d'axe en axe des bogies	15,350 —	14,600 —
Poids mort de la voiture (y compris eau et combustible)	37 955 kg.	36 915 kg.
Nombre de places	48	47
Poids mort par place offerte	790 kg.	785 kg.

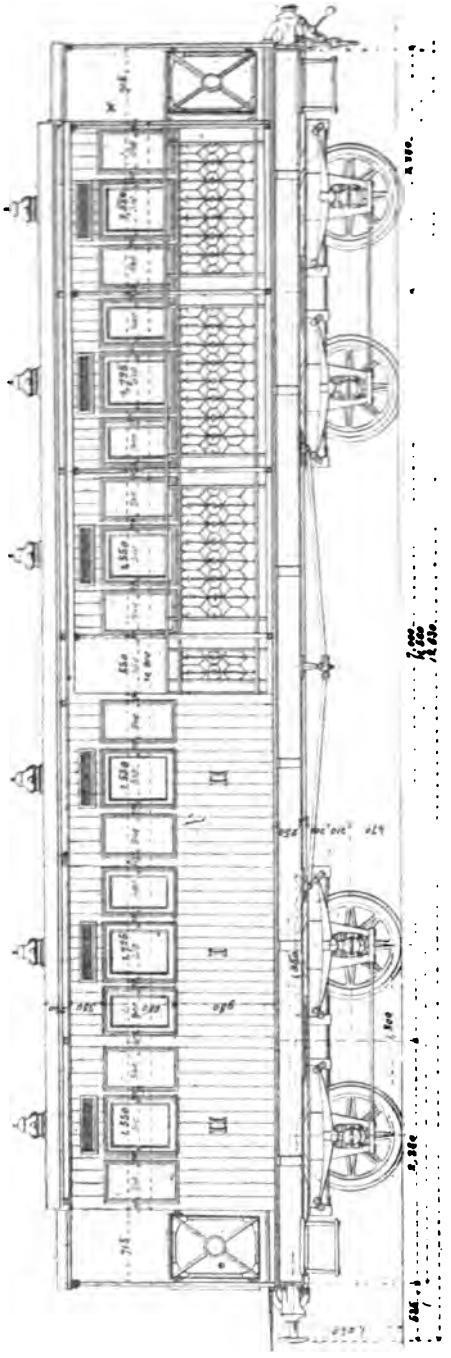
Dans les grandes voitures à intercirculation plus récemment construites qui circulent maintenant couramment sur les différents réseaux français, on a adopté uniformément le couloir latéral, dont la disposition a été reconnue plus commode que celle du couloir central ou du couloir brisé.

Les compagnies anglaises, qui emploient depuis longtemps les longues voitures à portières latérales et à compartiments isolés, font circuler aussi sur leurs réseaux des voitures-salons à couloir latéral, montées sur deux bogies ; la compagnie du London and North-Western Railway emploie même deux voitures-salons conjuguées, à communication intérieure, réunies par un couloir à soufflet en cuir, permettant de passer de l'une à l'autre pendant la marche. La caisse de chaque voiture a 12,810 m. de longueur ; elle est montée vers le milieu sur deux essieux rigides distants de 4,877 et vers les extrémités sur deux essieux pouvant prendre la position radiale dans les courbes : le tout formant un empattement flexible de 9, 754 m. La voiture est à portières latérales [1].

Tous ces types de voitures ont été établis en vue des trains à grande vitesse et c'est dans ces trains qu'ils circulent.

[1] Banderali. Article déjà cité. *Revue générale*, novembre 1886.

Nous trouvons également en Algérie une application intéressante du type



Voiture à bogies avec couloir en S (Bône-Guelma). Echelle de 0,015 par mètre.

Fig. 534. — Voiture mixte de 1re et 2e classe. Elévation.

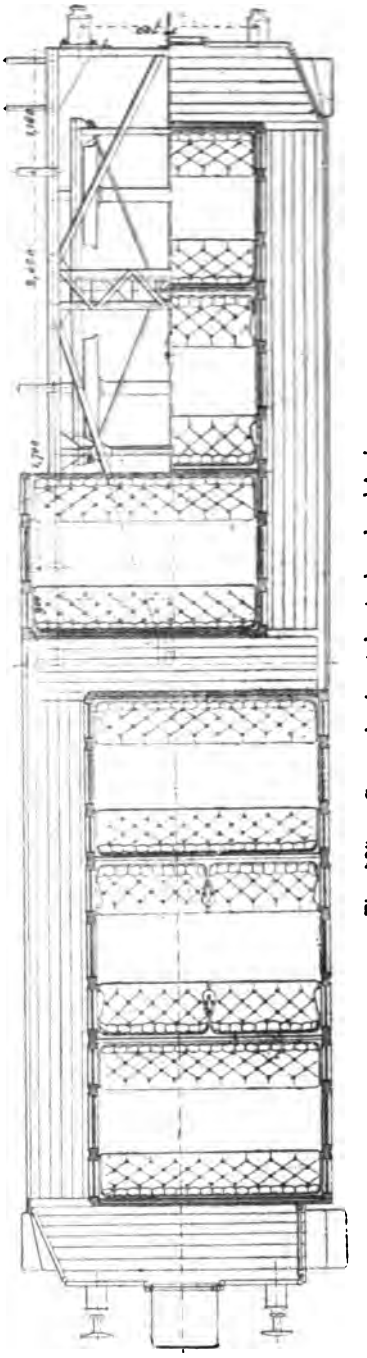


Fig. 535. — Coupe horizontale et plan du châssis.

américain dans les voitures à bogies, avec couloir en S, employées par la compagnie des chemins de fer de Bône à Guelma.

Ce type de voiture, décrit par M. E. Pontzen dans le numéro de mai 1887 du *Portefeuille économique des Machines*, repose sur deux bogies à deux essieux chacun, établis de manière à pouvoir passer facilement dans des courbes de 100 mètres de rayon ; la distance, d'axe en axe des essieux du bogie est de 1,80 m. Nous représenterons (fig. 534 et 535) l'élévation et la coupe horizontale d'une voiture mixte de 1re et 2e classe. Au lieu d'avoir une caisse régnant sur toute la longueur du châssis, ces voitures sont formées de deux caisses dont les axes sont situés de part et d'autre de l'axe du train. Une galerie ouverte en plein air se trouve, sur la demi-longueur de la voiture, du côté droit et, sur l'autre moitié de la longueur, du côté gauche; l'espace qui sépare les deux caisses sert de communication entre les deux galeries. Les caisses sont divisées en compartiments ayant chacun une porte ouvrant sur la galerie.

La longueur d'une voiture mixte, contenant deux compartiments de 1re classe et quatre compartiments de seconde à huit places chacun, est de 10,20 m., non compris les plates-formes; cette longueur est de 9,80 m. pour une voiture à six compartiments de 3e classe à dix places chacun.

La première voiture pèse 14 600 kilogrammes à vide et contient quarante-huit places, soit 304 kilogrammes de poids mort par place offerte ; la deuxième pèse 15 000 kilogrammes et contient soixante places, soit 250 kilogrammes de poids mort par place.

Voiture tramway a six essieux de la compagnie du Nord. — Nous venons de voir des voitures à circulation intérieure du type américain appliquées au service des trains rapides ; c'est également à ce type qu'il faut rattacher la voiture dont se sert la compagnie du Nord pour ses trains-tramways destinés à desservir les lignes de banlieue ou les lignes secondaires à faible trafic, en les faisant arrêter à un certain nombre de points intermédiaires entre les stations, tels que les passages à niveau, sans installations spéciales ni personnel pour les billets. Ces trains sont desservis par deux agents, un mécanicien sur la machine et un conducteur dans la voiture pour délivrer les billets, faire la perception, et suppléer, au besoin, le mécanicien.

Le programme auquel répond cette voiture est le suivant [1] :

1° Avoir un poids aussi faible que possible par voyageur transporté, afin de réduire au minimun le poids du train-tramway ;

2° Présenter, de tous les points de la voiture, un accès facile et permanent du conducteur sur la machine ;

3° Permettre au conducteur de circuler au milieu des voyageurs pour donner des billets et faire les perceptions et d'appeler avant chaque arrêt,

[1] Notice sur le matériel et les objets exposés par la compagnie du Nord, à l'Exposition universelle de Paris 1889.

le nom de cet arrêt, afin que les voyageurs puissent se préparer, se grouper et descendre plus facilement ;

4° Avoir une voiture de grande capacité, dans laquelle le nombre des places offertes de chaque classe réponde sensiblement au nombre des places occupées, en augmentant un peu la proportion des 1re et 2e classes, savoir :

10 à 12 p. 100 en 1re classe,
20 à 25 p. 100 en 2e classe,
Le reste en 3e classe ;

5° Donner à chaque classe un accès différent, tout en permettant l'accès unique par lequel tout les voyageurs montent ou descendent sous le contrôle direct du conducteur, aux points d'arrêt où il n'existe pas de station ;

6° Disposer la voiture de telle sorte qu'on puisse au besoin y réserver un compartiment pour le service postal et un autre pour le service des bagages, pour le cas où le train-tramway se trouverait substitué à un train ordinaire et devrait, par conséquent, remplir les mêmes obligations en ce qui concerne la poste, les bagages et les messageries ;

7° Enfin, donner à la voiture, malgré sa grande capacité, une flexibilité qui lui permette de passer dans des courbes de 90 à 100 mètres de rayon.

Le type de voiture qui répond à ce programme a été étudié par M. Bricogne ; il se compose de trois corps de voiture articulés entre eux et reposant sur 6 essieux indépendants deux à deux ; il renferme 102 places de voyageurs, un compartiment postal et un compartiment de bagages et pèse à vide 27 250 kilogrammes.

La caisse a 24 mètres de longueur : elle est desservie par un couloir central, auquel on accède par trois plates-formes à marchepieds.

Les deux plates-formes des extrémités sont limitées par une balustrade avec main courante ; elles sont fermées par deux portillons. La plate-forme intermédiaire est fermée latéralement par deux portes vitrées, composées de deux battants articulés entre eux, pour obéir aux ondulations dans les courbes.

Les compartiments de la caisse sont disposés dans l'ordre suivant :

Un compartiment de 2e classe à 20 places ;
— de 1re — à 12 —
— de 3e — à 70

puis le compartiment à bagages et celui de la poste.

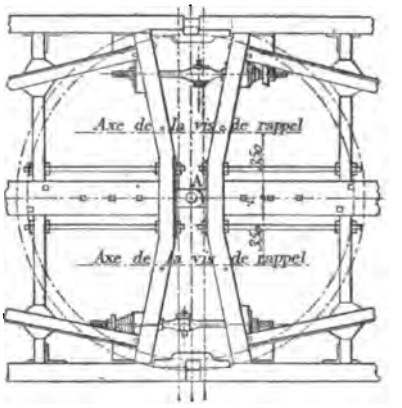
La figure 536 représente la disposition adoptée pour permettre à cette longue voiture de s'inscrire dans des courbes de faible rayon.

Chaque corps de voiture est réuni au suivant au moyen d'une articulation dont le centre est formé par un axe de rotation A ; de robustes charnières sont fixées aux brancards des châssis et glissent les unes sur les autres au passage dans les courbes, les branches du côté de la grande courbe se développant, tandis que celles du côté de la petite se refoulent. Il se produit là, en grand, ce qui se passe lorsqu'on ouvre ou qu'on ferme une charnière de porte.

Les sections de ces charnières sont calculées de manière à assurer aux points d'articulation une résistance à la flexion égale à celle du brancard.

Le compartiment de la poste et celui des bagages occupent une longueur de 4,20 m. et pèsent 4 700 kilogrammes, il reste donc 22 550 kilogrammes pour le poids de la partie de la voiture occupée par les voyageurs, ce qui fait ressortir à 221 kilogrammes le poids mort par place offerte.

Plan du châssis.



Coupe de l'articulation.

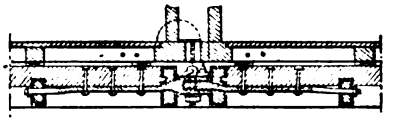


Fig. 536. — Voiture-tramway à six essieux de la compagnie du Nord.

§ 4. — COMMUNICATION DANS UN TRAIN EN MARCHE ou INTERCOMMUNICATION

La nécessité d'établir, dans les voitures à compartiments séparés, un moyen de communication entre les voyageurs et les agents du train a été signalée dans le paragraphe 1er du présent chapitre ; nous avons fait connaître en même temps les conditions que doivent remplir les appareils, d'après les prescriptions de la circulaire ministérielle du 10 juillet 1886. Il nous reste à décrire les dispositions des différents systèmes employés.

Ces systèmes peuvent être divisés en deux groupes, les uns fonctionnant par l'électricité, les autres au moyen de l'air comprimé.

Intercommunication électrique. — Le premier appareil qui ait fourni une solution pratique du problème de l'intercommunication est *l'appareil Prudhomme,* que la compagnie du Nord a adopté en 1865 et qu'elle a appliqué depuis à tous ses trains de voyageurs. Il a été ensuite adopté par la compagnie P.-L.-M., qui lui a fait subir certaines modifications. D'autres appareils électriques sont également employés par les compagnies de l'Est et de l'Orléans.

Appareil prudhomme du Nord. — Cet appareil est établi en vue de satisfaire aux trois conditions suivantes :

1° Mettre les différents agents d'un train en communication les uns avec les autres ;

2° Permettre à tous les voyageurs de faire appel, le cas échéant, à l'un de ces agents ;

3° Faire en sorte que, dans le cas d'une rupture accidentelle d'attelage, le conducteur de chaque tronçon du train soit immédiatement averti.

Pour obtenir ces différents résultats, on installe deux fils isolés d'un bout à l'autre du train et on les réunit, dans chaque fourgon, par un circuit électrique comprenant une pile et une sonnerie trembleuse ; chaque pile est formée de six éléments dont les pôles de même nom sont placés en regard. De cette manière, les sonneries, sollicitées par des courants égaux et contraires, demeurent en repos ; mais si l'on réunit les deux fils conducteurs en des points intermédiaires, l'équilibre se trouve rompu et les sonneries tintent d'une manière continue.

Chacun des deux fils est formé par un câble isolé qui réunit les pôles de même nom des deux piles en passant sous la caisse de toutes les voitures; d'une voiture à l'autre la continuité du conducteur est obtenue au moyen d'une corde en cuivre souple bien isolée, terminée par un anneau qui vient s'engager dans un crochet fixé à la traverse de tête du véhicule voisin. Le *fil de train* est celui qui réunit les pôles négatifs des piles ; le *fil de terre*, qui réunit les pôles positifs, se prolonge d'un bout à l'autre du train au moyen des barres d'attelage, avec lesquelles il communique ; afin de suppléer à un défaut de conductibilité de ces barres entre elles, ce fil est également relié par les plaques de garde aux essieux et par suite aux rails.

Dans chaque fourgon est placé un commutateur, qui permet de réunir directement les deux fils, et par conséquent de faire marcher les sonneries des deux fourgons. Dans chaque compartiment, un anneau suspendu à une chaînette est placé contre une paroi transversale ; en tirant cet anneau, on met en communication les deux fils, ce qui fait tinter les sonneries des deux fourgons, et, en même temps, on fait saillir perpendiculairement à la voie, à l'extérieur et de chaque côté de la voiture, un voyant qui indique aux agents le compartiment d'où est parti l'appel.

Les deux premières conditions du programme sont ainsi remplies.

La troisième l'est également de la manière suivante :si, par défaut d'attelage ou pour toute autre raison, une ou plusieurs voitures se séparaient du train, elles ne pourraient le faire qu'en retirant les anneaux des crochets dans lesquels ils sont engagés ; ces crochets tirés par des ressorts qui les sollicitent, viendraient immédiatement en contact avec des butoirs métalliques,

établiraient la communication entre les deux fils et feraient tinter les deux sonneries du train.

Appareil Prudhomme du P.-L-.M. — L'installation générale est la même que sur le Nord, mais l'appareil d'appel des voyageurs est un bouton analogue à celui des sonneries d'appartement et placé au ciel des wagons. De plus, il n'y a pas de disposition spéciale prise en vue d'indiquer le compartiment d'où est parti l'appel.

Fonctionnement de l'appareil Prudhomme. — D'après les expériences très soignées qui ont été faites sur le réseau P.-L.-M, l'appareil Prudhomme ne fonctionne pas toujours bien ; la moyenne des ratés serait de 20 à 25 p. 100 et ces ratés tiendraient le plus souvent à ce que du noir de fumée, des poussières ou des corps étrangers viendraient s'interposer pendant la marche entre le crochet et l'anneau de l'attelage électrique, formant ainsi un isolant qui interrompt le passage du courant.

Dans le but de remédier à cet inconvénient, la compagnie P.-L.-M. a installé un système d'attelage à baïonnette dû à M. Picard, chef de l'exploitation, dans lequel les contacts sont soustraits à l'influence des corps étrangers.

Appareil de l'Est. — L'appareil d'intercommunication employé à la compagnie de l'Est diffère du système Prudhomme sur plusieurs points.

En premier lieu, il n'y a pas de *fil de terre* : deux fils isolés sont établis le long de chaque côté du train et réunissent, l'un les pôles positifs de deux piles placées dans le fourgon de tête et dans le fourgon de queue, l'autre les pôles négatifs de ces mêmes piles. En outre, ces fils, au lieu d'être placés sous les châssis des véhicules comme dans le Prudhomme ordinaire, sont installés sous les corniches, ce qui les rend plus accessibles et plus faciles à protéger contre les ruptures et les dérangements de toute sorte.

Des commutateurs sont placés dans les fourgons et dans les voitures et mettent en communication les agents entre eux et les voyageurs avec ces agents ; mais l'appareil n'est pas disposé de manière à fonctionner automatiquement en cas de rupture d'attelage, ce qui est le trait caractéristique de l'appareil Prudhomme.

D'ailleurs l'emploi, général aujourd'hui, des freins continus enlève à cette condition l'intérêt qu'elle présentait au moment de l'invention de l'appareil Prudhomme.

Appareil de l'Orléans. — La compagnie d'Orléans a adopté un système d'intercommunication électrique à deux fils isolés qui est installé de la manière suivante [1].

[1] Note de M. O. Buron. — *Revue générale des Chemins de fer*, août 1886.

[illegible]

Enfin, le mécanisme est disposé de manière à ne laisser aux voyageurs aucune possibilité de démonter le bouton d'appel sans qu'immédiatement les agents du train en soient prévenus par la sonnerie.

INTERCOMMUNICATION PNEUMATIQUE. — Trois réseaux ont adopté les appareils d'intercommunication à air comprimé, ce sont l'Ouest, le Midi et l'Etat. Tous trois utilisent dans ce but la conduite du frein, mais les dispositions adoptées diffèrent suivant les réseaux.

Appareil de l'Ouest. — A l'une des extrémités de chaque voiture se détache, de la conduite principale du frein Westinghouse, un branchement qui aboutit à un robinet avec sifflet placé à l'extérieur sur cette voiture. En tirant un bouton ou un anneau placé à l'intérieur dans chaque compartiment, on met ce sifflet en communication avec l'air comprimé de la conduite, qui le fait vibrer. Comme le robinet qui commande ce sifflet ne peut être

fermé que de l'extérieur de la voiture, le sifflet fonctionne jusqu'à ce qu'un agent du train soit venu reconnaître le compartiment d'où est parti le signal, compartiment qui lui est signalé par la position anormale de la poignée d'appel.

En outre, la dépression qui se produit dans la conduite par l'échappement de l'air, dépression qui est insuffisante pour amener le blocage des freins, fait fonctionner un appareil avertisseur placé sur la machine à proximité du mécanicien. Celui-ci prévient le conducteur de tête au moyen d'une corde de communication qui fait sonner un timbre placé dans le fourgon.

Appareil du Midi. — Le système adopté par la compagnie du Midi permet aux voyageurs de provoquer eux-mêmes l'arrêt des trains.

Le principal organe du système consiste en une valve d'arrêt, disposée sur un branchement de la conduite principale du frein. Cette valve, ordinairement fermée, est maintenue dans sa position normale par un levier à déclenchement. Lorsque, par suite du déclenchement du levier, la valve cesse d'appliquer sur son siège, elle laisse échapper l'air de la conduite principale et détermine ainsi le serrage immédiat des freins.

Chaque voiture est munie d'une valve d'arrêt fixée à l'une des parois extrêmes du véhicule et pouvant être actionnée, de chaque compartiment, par un bouton. Il suffit de tirer ce bouton pour provoquer le déclenchement de la valve et, par suite, le serrage des freins.

En même temps que la valve se déclenche, deux voyants apparaissent aux angles supérieurs de la voiture. D'autre part, le bouton qui a été tiré ne peut être remis en place que par un agent du train. Il est donc facile de déterminer : 1° la voiture ; 2° le compartiment d'où le frein a été serré.

Le levier de déclenchement est muni d'une poignée, qu'il suffit d'abaisser pour remettre dans leur position normale la valve, les voyants et le bouton qui a été tiré.

Appareil de l'Etat. — Un appareil d'intercommunication avec signaux d'alarme est installé sur les voitures à voyageurs ; il fonctionne concurremment avec le frein continu.

Le fonctionnement de cet apppareil a pour effet de déterminer le serrage à fond du frein continu et par suite l'arrêt complet du train.

De la conduite générale du frein continu se détache, à l'une des extrémités de chaque voiture, un branchement spécial qui aboutit à une soupape fixée sur le panneau de tête. Si on provoque l'ouverture de cette soupape, on fait apparaître deux voyants placés de chaque côté de la voiture, sous la corniche. Pour déterminer l'ouverture de la soupape, il faut tirer

jusqu'à refus l'une des deux poignées qui, dans chaque compartiment, sont montées en diagonale sur les cloisons de séparation.

Le mécanisme ne peut être remis en place que de l'extérieur.

La voiture d'où un appel est parti se trouve donc indiquée par les voyants; la poignée abaissée de quelques centimètres désigne le compartiment dans lequel on réclame du secours.

Conclusion. — En résumé, quel que soit l'appareil employé, on peut dire que le problème de l'intercommunication est aujourd'hui résolu d'une manière satisfaisante et que les conditions imposées par la circulaire ministérielle du 10 juillet 1886 touchant l'installation des appareils sont remplies sur tous les réseaux français.

C'est une amélioration très appréciable apportée au matériel du type anglais à compartiments séparés et un supplément de sécurité donné aux voyageurs. Toutefois, on peut craindre que, dans les cas d'attaque brusque par un ou plusieurs malfaiteurs, le voyageur n'ait pas le temps de parvenir jusqu'au bouton d'appel parce qu'il aura été mis, par ses assaillants, dans l'impossibilité de se mouvoir. La voiture du type américain, à circulation intérieure reste donc, croyons-nous, supérieure à ce point de vue à la voiture anglaise, même lorsqu'elle est complétée par un appareil d'intercommunication, quelque perfectionné qu'il soit.

§ 5. — ÉCLAIRAGE

L'éclairage des voitures à voyageurs s'obtient au moyen de divers appareils qui font usage de l'un des cinq procédés suivants : 1° huile végétale ; 2° huile minérale ; 3° bougie ; 4° gaz ; 5° lumière électrique.

Éclairage a l'huile végétale. — Tout le monde connaît ces affreuses lampes à mèches plates qui existent encore en grand nombre dans le matériel des chemins de fer ; alimentées par un réservoir rempli d'huile de colza et placé au-dessus d'elles, ces mèches, suspendues au plafond du compartiment dans une coupe de verre, donnent une lumière faible, irrégulière, vacillante, qui ne tarde pas à diminuer encore au bout de quelques heures de marche, par suite de la carbonisation de la mèche et de la diminution de hauteur de l'huile dans le réservoir. Ces lampes deviennent ainsi de véritables veilleuses et n'éclairent plus dès lors que d'une façon absolument dérisoire. Elles ont, en outre, l'inconvénient de laisser écouler le trop-plein de l'huile dans la coupe de verre, ce qui diminue encore la faible lumière qu'elles donnent et peut, dans le cas où l'obturation n'est pas bien com-

plète entre cette coupe et le plafond du compartiment, faire couler l'huile sur les vêtements des voyageurs.

Cet abominable système, qu'on rougit de voir encore employé sur la plupart des lignes secondaires des chemins de fer français, est avantageusement remplacé par la lampe à bec rond qui a été appliquée pour la première fois par la compagnie du Nord et dont les excellents résultats ont permis de généraliser l'emploi.

Cet appareil, représenté par la figure 537, se compose :

1° De la lampe proprement dite, avec son réflecteur et le récipient d'huile;

2° D'une grille circulaire avec ressort destinée à maintenir la lampe et à fixer la cheminée en verre ;

3° D'une lanterne permettant l'évacuation des produits de la combustion.

Le réservoir d'huile est formé d'un anneau cylindrique, placé au-dessus du réflecteur ; il contient un poids de 0,585 kg. d'huile, ce qui correspond à un approvisionnement de dix-huit heures environ, la consommation horaire étant de 32 grammes.

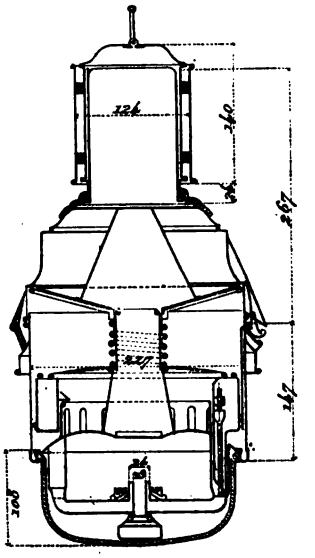


Fig. 537. — Lanterne et lampe à bec rond de la compagnie du Nord.

La lampe est à niveau constant ; l'huile arrive au bec, formé de deux cylindres concentriques écartés de 5 millimètres environ, par une des branches de la lampe et se répand dans l'espace annulaire du bec, sous lequel est placé un godet destiné à recevoir les égouttures.

Le réflecteur, qui fait corps avec la lampe, est en tôle d'acier laminé, plaquée de nickel ; il a la forme d'un tore engendré par un arc d'ellipse dont le grand axe est un peu incliné sur l'horizontale.

L'intensité lumineuse de cette lampe est de 0,75 Carcel. Elle donne un éclairage très satisfaisant et une expérience de plusieurs années à la compagnie du Nord a montré qu'avec du soin et un personnel exercé, sa manipulation et son entretien peuvent se faire sans plus de difficultés que ceux de la lampe à bec plat.

Il y a donc lieu de souhaiter qu'elle remplace définitivement cette dernière sur toutes les lignes où des modes d'éclairage perfectionnés ne sont pas exigés par l'importance du trafic.

L'huile végétale a l'inconvénient de s'épaissir lorsque la température s'abaisse et de se congeler à quelques degrés au-dessous de zéro. La lampe à bec rond présente encore à ce point de vue une supériorité marquée sur

la lampe à bec plat. En effet, pendant l'hiver rigoureux de 1879-1880, on a constaté à la compagnie du Nord que, tandis que l'huile des lampes à becs plats allumées se congelait lorsque la température était de — 12°, l'huile des lampes à bec rond n'a jamais gelé pendant qu'elles étaient allumées, bien que la température soit descendue jusqu'à — 24°. Cette supériorité tient à la différence de structure des lanternes ; dans l'ancienne lanterne l'air extérieur arrivait directement sur la lampe, tandis que la nouvelle s'alimente au moyen de l'air déjà échauffé du compartiment.

D'ailleurs on peut abaisser sensiblement le point de congélation de l'huile de colza, en l'additionnant d'une faible quantité d'huile de pétrole (2 p. 100) ; on peut même sans danger augmenter la proportion de pétrole jusqu'à 20 p. 100. Le mélange doit dans ce cas être battu avant d'être employé dans les lampes.

Éclairage a l'huile minérale. — L'huile minérale présente sur l'huile végétale l'avantage de donner une lumière plus blanche et plus intense, tout en étant d'un prix moins élevé; il était donc naturel que l'on songeât à l'employer pour l'éclairage des voitures de chemins de fer. Toutefois ce mode d'éclairage, qui a reçu autrefois des applications étendues en Allemagne, n'y a pas donné partout de bons résultats, soit à cause des difficultés de l'entretien, soit par suite de la grande volatilité des huiles minérales, qui s'enflamment à une température beaucoup plus basse que les huiles de colza. Aussi la majorité des ingénieurs de l'Union des chemins de fer allemands présents à la réunion de Munich, en 1868, a été d'avis que l'emploi de l'huile minérale pour l'éclairage des voitures entraîne trop d'inconvénients et de dangers d'incendie pour qu'on puisse le recommander. En fait, l'huile minérale a été peu à peu abandonnée en Allemagne.

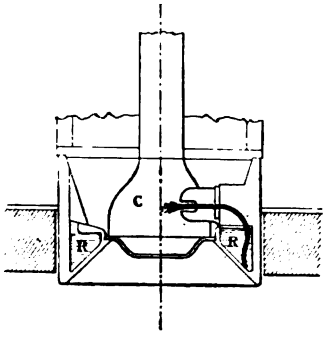


Fig. 538. — Eclairage minéral. Système Shallis et Thomas. Coupe verticale.

Elle est cependant employée en Angleterre et la compagnie d'Orléans en a fait également une application imitée de la compagnie du Great-Northern-Railway. Elle emploie, pour l'éclairage de certaines de ses voitures de 1re classe, deux lampes du système Shallis et Thomas, qui donnent une lumière très vive et sans ombre portée.

La flamme de ces lampes (fig. 538) est horizontale et placée notablement au-dessus du niveau de l'huile, qui monte dans la mèche par capillarité. Cette flamme se trouve dans une chambre de combustion en acier émaillé (C) qui est séparée du réservoir d'huile (R) par une enveloppe et un feutrage,

de telle sorte que les vapeurs inflammables accidentellement produites ne puissent y pénétrer. L'évacuation des produits de la combustion se fait par une cheminée en métal. Pour éviter l'échauffement du réservoir d'huile par suite du voisinage de la chambre de combustion, une circulation d'air très active est assurée autour de ce réservoir avec de l'air pris dans le compartiment.

Les huiles minérales employées à la compagnie d'Orléans sont des huiles de pétrole, des huiles de Boghead ou des huiles provenant de la distillation des naphtes de Russie.

Leur inflammabilité ne se produit pas à une température inférieure à 125°; elles sont parfaitement blanches et limpides, exemptes d'eau et de toutes matières étrangères en suspension ; elles brûlent sans donner aucun résidu.

La température de l'huile dans le réservoir ne s'élève jamais au-dessus de 38° à 40°, de sorte que la sécurité est complète.

Les lampes peuvent fournir un bel éclairage pendant douze ou quinze heures; la quantité de lumière donnée par chacune d'elles est un peu supérieure à un bec Carcel.

Éclairage a la bougie. — La bougie est employée sur plusieurs lignes du nord de l'Allemagne et en Russie, à cause de la facile congélation de l'huile en hiver. Mais ce mode d'éclairage est cher et ne donne qu'une faible lumière. En outre, il est facile, ainsi que nous l'avons vu, d'abaisser très notablement le point de congélation de l'huile végétale en lui ajoutant une faible proportion de pétrole. Il ne semble donc pas, dans ces conditions, qu'il y ait lieu de recommander l'emploi de la bougie pour l'éclairage des voitures de chemin de fer.

Éclairage au gaz. — Le gaz est très employé en Angleterre, en Allemagne, en Italie, en Belgique, pour l'éclairage des voitures ; il est également employé en France où il donne de très bons résultats, notamment depuis l'emploi des procédés d'éclairage par l'incandescence.

Deux systèmes principaux peuvent être adoptés pour l'installation de ce mode d'éclairage : on peut établir un réservoir spécial sur chaque voiture ou se servir d'un réservoir unique alimentant toutes les voitures au moyen d'une conduite générale.

C'est le premier système qui a été adopté sur le Métropolitain de Londres. Des réservoirs à parois de toile imperméable sont installés sur le toit de chaque voiture et un couvercle en métal donne par son poids la pression nécessaire pour écouler le gaz. La quantité de gaz emportée par chaque voiture est 4,240 m^3; elle suffit à l'éclairage pendant deux heures et demie.

L'alimentation des réservoirs se fait dans les gares principales, au moyen d'une conduite qui règne parallèlement au quai et qui comporte un certain nombre de prises convenablement espacées.

Sur d'autres lignes anglaises, un réservoir unique est installé dans le fourgon à bagages et sert à distribuer le gaz à tout le train, au moyen de tuyaux fixés le long de chaque voiture et raccordés entre eux par des tubes en caoutchouc.

On peut se servir pour l'éclairage soit du gaz ordinaire, soit du gaz comprimé. Le gaz ordinaire a l'inconvénient d'occuper un très grand volume, lorsque les points d'alimentation sont situés à des intervalles un peu éloignés. Le gaz comprimé à haute pression (de 9 à 12 atmosphères) et renfermé dans des réservoirs en métal à volume constant échappe à cet inconvénient; employé avec un régulateur, destiné à compenser pendant la marche la perte de pression due à la dépense du gaz, il paraît fournir une très bonne solution de l'éclairage des voitures. La lumière qu'il donne est très belle et bien supérieure à celle des lampes à l'huile végétale.

Quant à la nature même du gaz employé, elle est très variable. On peut se servir soit du gaz ordinaire, soit d'un gaz riche produit par la distillation des boghead (matières solides), employé seul ou mélangé avec du gaz provenant de la distillation des huiles, soit de gaz carburé, soit enfin de gaz riche provenant de la distillation de matières liquides.

Les systèmes les plus importants à signaler paraissent être les suivants: 1° le système *Cambrelin*, appliqué depuis 1869 sur le réseau de l'État belge, et qui comporte un réservoir unique placé dans le fourgon; 2° le système *Pintsch*, très usité en Allemagne, dans lequel un réservoir est installé sous chaque voiture et contient un gaz riche provenant de la distillation de matières liquides et comprimé à 6 atmosphères. Ce système est également appliqué en Angleterre, en Autriche, en Russie, aux États-Unis et en France sur les réseaux de l'Ouest, de l'Est, du P.-L.-M. et de l'Etat; 3° le système *Forster*, usité en Amérique et qui comporte l'emploi de gaz provenant de la distillation du pétrole; 4° le système *Sugg*, qui consiste à brûler du gaz ordinaire fourni par les usines existantes, après l'avoir enrichi par des hydrocarbures. Ce système a été appliqué en Angleterre par la compagnie du Great-Northen.

Tous ces systèmes exigent d'ailleurs l'installation d'usines spéciales, soit pour la fabrication, soit pour la transformation du gaz et, si l'on veut éviter d'en construire un grand nombre, il faut transporter le gaz riche dans des réservoirs spéciaux aux gares où le service est peu important.

[1] V. sur cette question une note sur l'éclairage au gaz des voitures de chemins de fer par M. de Ratuld. *Revue générale des Chemins de fer*, février 1882.

Quoi qu'il en soit, l'éclairage au gaz et notamment au gaz riche se répand de plus en plus.

Ajoutons que, dans le but de diminuer la dépense de l'éclairage par le gaz, la compagnie P.-L.-M. a muni ses appareils d'un système ingénieux, adopté également sur d'autres réseaux, qui réalise la *mise en veilleuse automatique* de la lampe, chaque fois que les voyageurs, désirant en diminuer la clarté, font usage du store qui entoure la coupe.

C'est surtout sur les réseaux où il existe des parcours de nuit très longs que cette disposition présente de l'importance au point de vue économique. D'après les observations faites à la compagnie P.-L.-M., la consommation horaire normale en pleine flamme, qui était 23 litres par lampe, est descendue à 17 litres et demi dans les voitures auxquelles on a appliqué la mise en veilleuse automatique.

Ajoutons que, depuis quelques années, on a appliqué à l'éclairage des voitures des chemin de fer le principe si fécond de l'incandescence, réalisé au moyen soit de brûleurs à manchon droit, type Auer, soit de brûleurs renversés, utilisant des manchons de forme sphérique. Les premiers essais de brûleurs à manchon droit ont été faits en 1901 par la Compagnie de l'Est, qui a depuis muni de ce système d'éclairage un grand nombre de ses voitures; les brûleurs à bec renversé sont employés notamment sur le réseau de l'Ouest. Les résultats obtenus paraissent très satisfaisants, tant au point de vue de la qualité de la lumière qu'à celui de la dépense, qui est relativement faible [1].

La figure 539 représente la disposition de l'un des types de brûleurs à incandescence employés sur le réseau de l'État.

La lanterne complète comprend les organes ci-après :

1° Le chapiteau *a*;

2° La cage ou corps de lanterne *b*;

3° Le cercle à charnière *q* supportant la coupe mobile.

Le chapiteau est pourvu de trous *d* permettant l'évacuation des produits de la combustion et d'orifices *e* pour l'admission de l'air. Il est monté à charnière sur un cercle métallique qui surmonte la cage de lanterne.

Celle-ci est fermée à sa partie inférieure par un diaphragme *g*, muni en son milieu d'une ouverture destinée à donner passage à la cheminée *i*; elle supporte l'ensemble de la lampe constitué par le réflecteur émaillé *f*, le col de cygne *k*, à l'extrémité duquel est adapté le brûleur, et le cercle à charnière *q* dans lequel est montée la coupe et qui permet de la rabattre à l'intérieur du compartiment.

Le tuyau d'arrivée de gaz *j*, qui est relié à l'aide d'un raccord spécial

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1905 et octobre 1906.

au col de cygne, passe au préalable par le robinet d'isolement *p*, manœuvrable de l'intérieur des compartiments au moyen d'une clé spéciale.

Le brûleur *m* est vissé sur l'injecteur *l* qui, à son tour, est vissé sur le col de cygne *k*. Sur le brûleur vient se placer directement la douille *n* qui constitue la tête mobile du bec et qui porte le manchon.

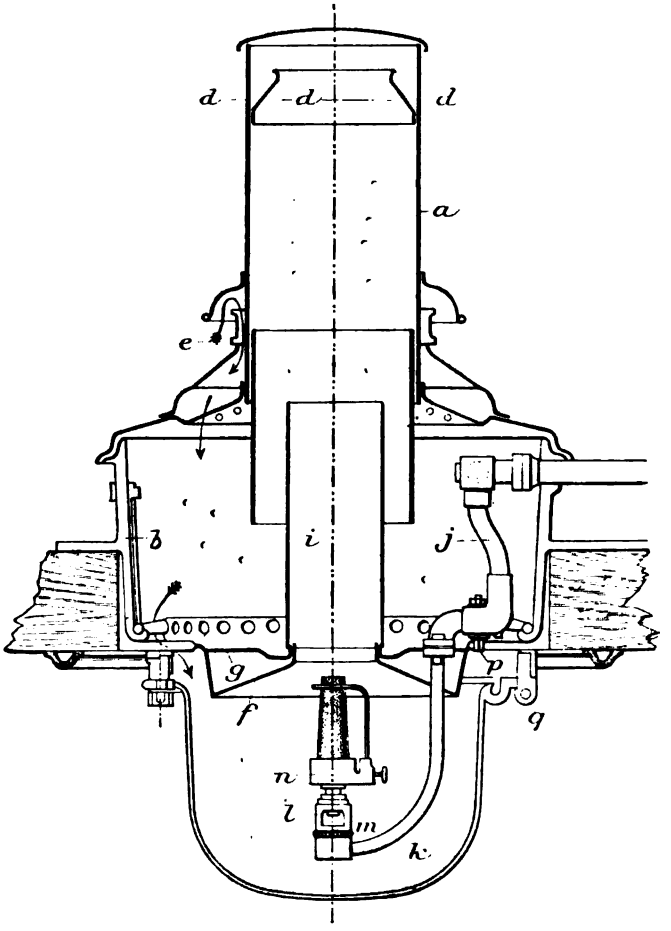


Fig. 539. — Brûleur à incandescence. Type Luchaire.

Cette douille facilite la manipulation du manchon qu'elle permet de saisir assez facilement sans trop de risques de bris; elle offre, en outre, l'avantage de retenir dans la flamme la partie inférieure du manchon en cas de rupture de ses attaches.

Un appareil de mise en veilleuse, fonctionnant automatiquement par la manœuvre de fermeture des stores-écrans, peut être adapté à toutes les lanternes.

Éclairage électrique. — L'éclairage des trains au moyen de la lumière électrique n'a encore reçu que des applications limitées ; il ne paraît pas

douteux cependant qu'il ne se développe davantage, surtout lorsque son prix aura encore diminué.

Les premiers essais paraissent avoir eu lieu en 1883 et 1884 sur quelques lignes de l'État prussien, au moyen de lampes à incandescence ; d'autres essais ont été faits sur une plus grande échelle sur les chemins de fer de l'État wurtembergeois ; ils ont été renouvelés ensuite sur la ligne du Mein-Necker.

La source d'électricité était fournie par une machine dynamo installée dans le fourgon et actionnée par un essieu de ce véhicule ; dans les meilleurs dispositions employées, le courant était envoyé dans une rangée d'accumulateurs placés par paires sous chaque voiture et les chargeait, tandis qu'une autre rangée d'accumulateurs servait à l'alimentation des lampes. Après la décharge qui se produisait, suivant la grandeur des accumulateurs et le nombre des lampes, au bout de cinq heures au plus, la deuxième rangée alternait avec la première. De cette façon la lumière était parfaitement indépendante de la vitesse du train et, par suite, bien fixe.

Grâce aux progrès accomplis dans les applications de l'électricité, la dépense d'éclairage, qui était très élevée au début, a progressivement diminué et elle était évaluée, en 1887, à une moyenne de 4 à 5 centimes par lampe et par heure, alors qu'à la même époque l'éclairage de voitures par le gaz coûtait en Allemagne 0,03764 fr. par bec et par heure. Il faut tenir compte, en outre, des dépenses d'aménagement du matériel, qui seraient plus élevées que celles de l'installation de l'éclairage au gaz.

En fait, l'éclairage électrique des voitures peut être produit, soit au moyen d'accumulateurs qu'on charge et qu'on change pendant les stationnements dans les gares, soit au moyen d'une dynamo actionnée par la locomotive ou par les essieux du train, avec accumulateurs servant comme régulateurs de l'éclairage pendant les arrêts, soit enfin au moyen de dynamos actionnées par une machine spéciale.

C'est en somme le problème de l'éclairage électrique à bon marché qui se pose, en matière de chemins de fer comme pour toutes les autres applications qu'on a faites de l'électricité à la production de la lumière. Nul doute, suivant nous, que lorsqu'on sera parvenu à obtenir cette lumière au même prix que celle du gaz, elle ne remplace complètement cette dernière pour l'éclairage des voitures de chemins de fer.

Conclusions. — En résumé, les anciennes lampes à huile végétale et à bec plat, qui ne donnent qu'un éclairage absolument insuffisant, ont été en général remplacées par des lampes à bec rond bien plus satisfaisantes. Il faut souhaiter de voir ces lampes à becs plats disparaître complètement des lignes où on les emploie encore ; le bas prix auquel elles fournissent la lumière n'est pas une raison suffisante pour justifier leur emploi.

Les lampes à huiles minérales donnent de très bons résultats et ne présentent aucun danger quand elles sont bien établies.

L'éclairage au gaz et en particulier au gaz riche est également très satisfaisant, surtout quand il est réalisé par les becs à incandescence.

Quant à la lumière électrique, elle paraît devoir donner, quand on aura réussi à la produire à bon marché, le meilleur système d'éclairage des voitures[1].

§ 6. — CHAUFFAGE

Nous écrivions ce qui suit dans notre première édition :

« Il n'y a pas fort longtemps que les voyageurs de 2e et de 3e classe qui « circulent sur les chemins de fer français jouissent, comme ceux de 1re classe, « de la faveur d'être chauffés en hiver. C'est en 1875 seulement, au moment « du vote des conventions avec les différentes compagnies, que cette amélio- « ration a été décidée en principe, à la suite d'un amendement présenté par « MM. Schœlcher, Rouvier, de Lacretelle et de Mahy. Les conventions jointes « aux lois de concession de 1875 portent un article d'après lequel chaque « compagnie s'engage : 1° à chauffer, dès à présent, en hiver, les compartiments des dames seules des trois classes ; 2° pour le cas où l'une des cinq « autres compagnies principales appliquerait aux voitures des trois classes, « sur l'ensemble de son réseau, un système de chauffage agréé par le ministre, « à mettre en pratique ce système ou tout autre qui serait jugé préférable, « dans les délais qui seraient fixés par l'administration.

« En fait, voici ce qui a été réalisé : sur le réseau de l'État, les voitures des « trois classes sont chauffées dans tous les trains. Cette mesure est appliquée « depuis l'hiver 1879-1880 en vertu d'un ordre du directeur qui a prescrit en « même temps d'allumer toujours les poêles des salles d'attente une heure « au moins avant le départ de tous les trains.

« Sur les autres réseaux, les voitures des trois classes sont chauffées dans « les trains de grands parcours ; dans ceux dont les trajets ne durent pas au « moins une heure ou deux heures, suivant les réseaux, les voitures de « 1re classe continuent seules à être chauffées.

« Il y a là, il faut bien le dire, une limite absolument arbitraire, qui ne « pouvait se justifier au moment où elle a été fixée que par l'impossibilité « matérielle où se trouvaient les compagnies de chauffer immédiatement

[1] Mentionnons, à ce propos, une circulaire ministérielle du 26 mars 1900 signalant l'insuffisance et la mauvaise répartition de l'éclairage dans les voitures de 2e et 3e classe, prescrivant l'installation d'au moins une lampe par compartiment dans les voitures existantes et demandant, que dans les voitures nouvelles l'éclairage soit assuré de telle manière qu'il soit possible de *lire aisément à toutes les places*,

« toutes les voitures circulant sur leurs réseaux. Mais, depuis cette époque, « bien des années se sont écoulées, et malgré les réclamations des voya- « geurs et les exhortations du ministre des Travaux publics[1], les voitures de « toutes classes ne sont pas encore chauffées dans tous les trains au moment « où nous écrivons ces lignes (janvier 1890). C'est une situation fort regret- « table et, quand on voit les installations luxueuses que les compagnies n'hési- « tent pas à adopter dans leur matériel perfectionné pour les voyageurs de « 1re classe, il est permis de s'étonner qu'elles n'aient pas encore trouvé le « moyen d'étendre aux voyageurs le bénéfice du chauffage pour tous les tra- « jets, quels qu'ils soient. C'est une question d'humanité, sur laquelle on ne « devrait pas, semble-t-il, avoir besoin d'insister.

« Et qu'on ne vienne pas exciper d'une prétendue impossibilité d'étendre, « sur toutes les lignes, le chauffage aux trois classes de voyageurs. Ce qui « se fait en Allemagne, en Suisse et ailleurs peut bien se faire en France.

« Le Congrès international des chemins de fer a émis sur cette question « l'avis suivant dans sa réunion de Milan (1887) :

« L'état actuel de la question de chauffage des voitures, si controversée, « mais qui heureusement n'a pas une importance vitale dans l'exploitation « des chemins de fer, peut être ainsi caractérisé. Si l'on n'est pas encore « arrivé à une solution satisfaisant à la fois les convenances variées du public « et les exigences de nos services d'exploitation, et il est du moins possible, « — grâce au maintien du *statu quo*, qui a pour lui le mérite d'une habitude « consacrée, et qui, dans nos climats tempérés, suffit dans la plupart des « cas, — d'atteindre sans impatience le résultat des recherches si conscien- « cieusement entreprises sur un grand nombre de réseaux. »

Et nous ajoutions :

« Cela est fort bien ; mais, en attendant, les voyageurs de 2e et 3e classe, « chauffés sur les grandes lignes, ont froid sur les petites. »

[1] Extrait d'une circulaire ministérielle du 21 mai 1879, édictée d'après l'avis du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer :

« Les compagnies qui, aux termes de leurs conventions avec l'Etat, ne chauffent pas certains trains d'un faible trajet (ceux des petits embranchements, par exemple), ne sont pas tenues de chauffer ces mêmes trains par cela seul qu'ils viendraient à être en correspondance avec des trains de grande ligne ; mais toutefois, cette extension est très désirable, et les compagnies doivent être invitées à s'y prêter autant que possible. »

Extrait d'une dépêche ministérielle du 24 mai 1884, adressée aux compagnies, à la suite de plaintes des voyageurs qui demandaient le chauffage de toutes les voitures, sans distinction de classes et sans limitation de parcours :

« Les études auxquelles il a été procédé, les expériences qui ont été faites sur diverses lignes ont aplani les difficultés que l'on avait rencontrées au début. D'autre part, les moyens d'action dont on dispose sont plus perfectionnés et plus nombreux. Je me plais donc à penser, Messieurs, que, dès l'ouverture du prochain service d'hiver, vous réaliserez une amélioration depuis si longtemps attendue, en appliquant le chauffage d'une manière générale dans toutes les voitures sans limitation de parcours et sur toutes les lignes, y compris bien entendu celles de la banlieue de Paris. »

Malgré ces recommandations les trains de la banlieue de Paris (Ouest et Nord) ne sont pas actuellement (janvier 1890) chauffés en 2e et en 3e classe.

Depuis l'époque où ces lignes ont été écrites, il y a eu heureusement une grande amélioration dans la situation, tant en ce qui concerne les procédés de chauffage employés qu'en ce qui touche le domaine de leurs applications, qui a été progressivement étendu et qui comprend maintenant les voitures de toutes classes, dans tous les trains.

Les bouillotes à eau chaude, qui constituaient autrefois, malgré leurs multiples inconvénients, le mode de chauffage le plus habituel sur les réseaux français, ont fini par céder la place à des procédés plus perfectionnés, et il ne paraît pas douteux aujourd'hui que, comme nous le faisions pressentir déjà, en 1891, le chauffage à la vapeur doive se généraliser de plus en plus et donner la solution la plus satisfaisante du problème, à tous les points de vue [1].

Les différents modes de chauffage employés peuvent être divisés en deux groupes, savoir :

1° Les appareils à *chauffage intermittent*, tels que les bouillottes et les chaufferettes ;

2° Les appareils à *chauffage continu*, comprenant les poêles et les appareils à circulation d'air chaud, d'eau chaude ou de vapeur.

Chauffage intermittent. — Le chauffage intermittent est réalisé par l'emploi de chaufferettes à eau ou bouillottes, de chaufferettes à sable, à feu ou mixtes.

Bouillottes. — Le chauffage au moyen de bouillottes mobiles remplies d'eau chaude a été adopté, dès l'origine, par les compagnies françaises. Il a été pendant très longtemps le plus répandu dans notre pays, malgré ses inconvénients bien connus.

En premier lieu la chaleur que donnent ces bouillottes, quelquefois trop grande au moment où on les place dans le compartiment, diminue assez rapidement et devient à peu près nulle au bout de quelques heures. Il faut donc les renouveler.

Or, le changement des bouillottes est une opération extrêmement désagréable pour les voyageurs, surtout pendant la nuit. L'ouverture des portières, qui fait entrer dans le compartiment un courant d'air glacé pendant que les voyageurs sont, pour la plupart, endormis ; l'obligation pour eux de lever les pieds assez haut pour permettre l'échange des bouillottes froides contre les chaudes ; le bruit qui accompagne toujours cette manœuvre ; tout

[1] On pourra consulter avec intérêt, surtout au point de vue historique l'ouvrage important par lequel M. Regray, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la compagnie de l'Est, a rendu compte des expériences faites en France en 1873, 1874 et 1875 sur les différents modes de chauffage. L'ouvrage a paru en 1876 à Paris chez Dunod et Paul Dupont. Le compte rendu en a été publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, de 1877 (1er semestre).

cela constitue un ensemble de désagréments qui ne laissent pas d'avoir une certaine importance en voyage.

Enfin, la présence même de ces bouillotes sur le sol des compartiments est une source de gêne pour les voyageurs qui veulent y pénétrer, alors qu'un certain nombre de places sont déjà occupées par des personnes confortablement installées et les jambes enveloppées dans leurs couvertures.

Le système des bouillottes mobiles est donc fort défectueux ; il est incommode et il chauffe mal. Mais, comme il est encore en usage sur les petites lignes des réseaux français, nous devons faire connaître les moyens dont on se sert pour assurer le réchauffage de l'eau en certains points du parcours des trains.

Les bouillottes sont généralement de forme plate et allongée ; on en place deux par compartiment. On les fait en tôle ; souvent on munit leur face inférieure d'une garniture en bois, qui a pour but de ménager les tapis des voitures. On a essayé d'envelopper ces bouillottes d'une étoffe de laine épaisse, ce qui permet d'y poser les pieds, même quand elles sont trop chaudes ; mais cette enveloppe a le grave inconvénient d'accélérer le refroidissement et on a pris le parti de revenir aux bouillottes en métal nu et poli.

Ces bouillottes sont remplies d'eau chaude au départ et fermées, au moyen de bouchons métalliques, qui doivent donner une étanchéité absolue, sous peine d'exposer les voyageurs à se baigner les pieds dans une eau, qui peut être ou chaude ou glacée.

D'après des observations faites par la compagnie de l'Est[1], une bouillotte remplie d'eau à 80° s'est refroidie en deux heures et demie jusqu'à 45° ; pendant ce temps la température intérieure du compartiment a monté de 3° à 9°, pour redescendre ensuite à 7°5 ; la température extérieure était d'environ 1° au-dessus de zéro. Au bout de quatre heures, la température de la bouillotte n'était plus que de 33° et celle du compartiment de 5°, la température extérieure étant de — 1°.

Ces résultats démontrent, d'une part, que l'effet utile des bouillottes est à peu près nul au point de vue du chauffage des compartiments. et, d'autre part, qu'il est nécessaire de les remplacer au bout de peu de temps.

Dans les trains de vitesse où ce remplacement peut se faire de deux heures en deux heures à peu près, le mal n'est pas encore bien grand. Mais dans les trains omnibus, qui font souvent des trajets de près de quatre heures sans que les bouillottes soient changées, la situation est tout autre et on imagine facilement que les voyageurs ne doivent pas y avoir chaud, surtout en 3e classe, malgré les bouillottes.

Deux systèmes sont actuellement employés pour réchauffer l'eau des

[1] Goschler, t. III.

bouillotes mobiles : autrefois on vidait complètement les bouillottes froides et on les remplissait d'une eau tirée d'une chaudière qu'on entretenait à 100°. C'était long et incommode. Aujourd'hui on opère le réchauffage sans les vider, soit en envoyant un jet de vapeur à haute pression dans les bouillottes débouchées, soit en les plongeant dans l'eau bouillante telles qu'elles sortent des compartiments.

Le premier procédé est celui des compagnies du Nord, de l'Ouest, de l'Orléans et de P.-L.-M. ; il consiste à plonger à la fois dans un certain nombre de bouillottes, portées sur un même chariot, un nombre égal de tubes en métal manœuvrés par une herse en fonte, à l'aide d'un levier à la main et à contrepoids équilibrant. Chaque tube est muni d'un robinet, qui permet de le mettre en communication avec une chaudière à haute pression, spécialement établie à cet effet.

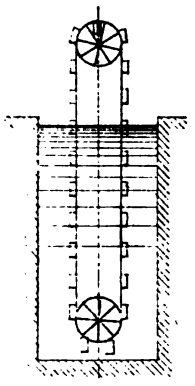


Fig. 540. — Chauffage des bouillottes Appareil à noria (Comp. de l'Est).

Il suffit généralement de deux ou trois minutes pour porter à 90° la température de l'eau des chaufferettes.

Le second procédé est celui de la compagnie de l'Est; il consiste à plonger les bouillottes froides dans une cuve pleine d'eau maintenue à la température constante de 100°.

L'appareil dont on se sert dans ce but (fig. 540) est une sorte de noria formée de deux chaînes sans fin, dont les maillons peuvent recevoir chacun une chaufferette, et qui plongent dans la cuve. Un tambour, qui tourne avec un mouvement suffisamment lent, fait mouvoir cette noria et permet, d'un côté, le chargement des bouillottes froides et, de l'autre, l'enlèvement des bouillottes réchauffées. Chaque bouillotte est placée dans un panier métallique à claire-voie, articulé sur les maillons des chaînes sans fin.

L'eau de la cuve est maintenue à une température voisine de 100° au moyen d'une injection de vapeur.

L'expérience a montré qu'une bouillotte métallique ordinaire, remplie d'eau à 0 degré et bien bouchée, acquiert au bout de cinq minutes, quand elle est plongée dans cette cuve, une température de 90°.

La compagnie de l'Est a fait installer, dans certaines gares de son réseau, des appareils de cette nature qui fonctionnent régulièrement.

Bouillottes à l'acétate de soude (*Système Ancelin*). — Dans le but de rendre moins fréquent le renouvellement des bouillottes en cours de route, le compagnie de l'Ouest a remplacé l'eau chaude par de l'acétate de soude cristallisé contenant quatre équivalents d'eau. Ce sel, en raison de la chaleur latente nécessaire à sa fusion, emmagasine une quantité de chaleur utile quatre fois

plus grande que celle de l'eau. Le graphique (fig. 541) représente des courbes relevées en service à la compagnie de l'Ouest ; il montre que la chaufferette à acétate emploie environ neuf heures pour descendre de 75° à 40°, tandis que, dans les mêmes conditions, la chaufferette à eau se refroidit de la même quantité en deux heures et demie. Il fait voir, en outre, qu'au lieu de perdre son calorique d'une manière régulière, comme l'eau, l'acétate de soude se refroidit assez rapidement jusqu'à 59° environ (en une heure et demie), puis conserve cette température pendant une période de cinq heures

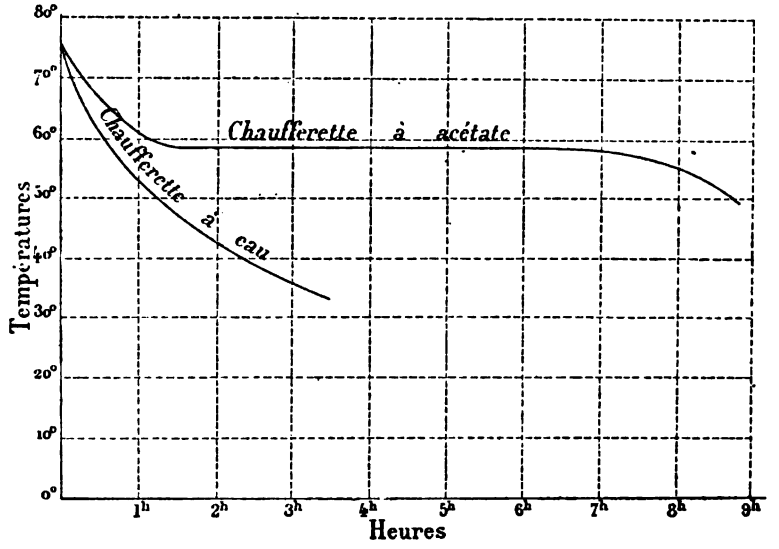


Fig. 541. — Graphique comparatif du refroidissement des chaufferettes à eau et acétate de soude.

environ, correspondant à la solidification du sel, et enfin se refroidit à la manière ordinaire pendant une dernière période de deux heures environ. Il y a donc une période d'utilisation quatre fois plus grande à peu près pour la chaufferette à acétate.

Le remplissage des chaufferetes se fait une fois par an ; elles sont ensuite fermées hermétiquement au moyen de bouchons soudés. Quant au réchauffage, il s'obtient par immersion dans des cuves remplies d'eau, qu'on entretient bouillante au moyen d'un courant de vapeur.

Chaufferettes à sable. — Sur certains chemins de fer allemands on a essayé de se servir de chaufferettes remplies de sable, préalablement chauffé dans des fours ; ces chaufferettes sont placées au-dessous des banquettes des compartiments dans des gaines de tôle où on les introduit par de petites portes ménagées dans les parois de la voiture. De cette façon, le remplacement des chaufferettes s'opère sans gêner les voyageurs.

On espérait que l'emploi du sable permettrait d'obtenir un refroidissement moins rapide des chaufferettes ; mais c'est le contraire qui a lieu et ce mode de chauffage est, en somme, peu usité.

Chaufferettes à feu. — Au contraire, le chauffage au moyen d'un charbon spécial, préparé sous forme de briquettes, et introduit dans des caisses métalliques placées dans les compartiments, est très employé en Allemagne.

Les briquettes agglutinées dont on se sert ont la composition moyenne suivante :

Charbon de bois.	79	à	83	parties.
Eau.	4	à	6	—
Matière agglutinante	6	à	1	—
Nitrate de potasse.	3	à	5	—
Cendres.	8	à	5	—
	100		100	—

Ces briquettes, une fois allumées, brûlent lentement et dégagent une chaleur à peu près constante.

Les précautions nécessaires sont prises, bien entendu, pour que les produits de la combustion s'échappent dans l'atmosphère ; la manœuvre des chaufferettes à feu se fait de l'extérieur de la voiture, sans causer aucun dérangement aux voyageurs. Sur certaines lignes, les appareils de chauffage sont placés sous les sièges ; sur d'autres, on les installe dans l'épaisseur du plancher, sous les pieds des voyageurs.

La quantité de briquettes introduite dans chaque chaufferette est généralement réglée de manière que la température du compartiment soit d'environ 12°.

Les chaufferettes à feu donnent une chaleur bien supérieure à celle des bouillottes à eau, cela est certain ; mais, malgré les précautions prises pour isoler le foyer des parois en bois des voitures, ce procédé de chauffage n'est pas sans danger et, en cas d'accident ou de collision de train, on peut se demander si ces chaufferettes ne deviendraient pas des causes d'incendie, comme les poêles dont nous parlerons ultérieurement.

Chaufferettes mixtes. — La compagnie du Nord a imaginé pour le chauffage des voitures de 1re et 2e classe des lignes secondaires, une chaufferette mixte à eau et à briquettes qui a été étudiée en vue de répondre au programme suivant :

1° Obtenir à peu de frais un chauffage pouvant fonctionner sept à neuf heures sans renouvellement de combustible ou d'appareils ;

2° Maintenir les chaufferettes à une température à peu près constante

pendant toute la durée du trajet et supprimer le remplacement des bouillottes, si gênant pour les voyageurs.

Dans ce but, on emploie une chaufferette dont la forme et les dimensions diffèrent peu de celles de la bouillotte ordinaire, mais qui est divisée en deux compartiments superposés ; le compartiment supérieure est un réservoir pouvant recevoir trois litres d'eau ; le compartiment inférieur, reposant sur un socle isolateur en bois, est destiné à contenir une grille mobile, dans laquelle on place deux briquettes formées d'un charbon aggloméré.

L'appel de l'air nécessaire à la combustion et la sortie de ses produits se font par deux ouvertures qui débouchent sur le plancher de la voiture dans une gaine en fonte. Aucun dégagement de gaz n'est à craindre par la porte d'introduction du combustible.

Au point de vue de la dépense, une expérience de plusieurs années à permis de reconnaître que le système mixte procurait une économie de 50 p. 100 sur l'emploi des bouillottes à eau ordinaire. Ce mode de chauffage convient donc particulièrement sur les lignes à faible trafic [1].

Dans le même ordre d'idées (chaufferettes mixtes), signalons l'emploi par la compagnie de l'Ouest[2] de chaufferettes fixes à eau, munies chacune à leur extrémité d'un foyer à combustion lente placé au-dessous du plancher de la voiture. A l'intérieur de la bouillotte se trouve un carneau horizontal complètement entouré d'eau. Un vase d'expansion permet la dilatation du liquide et sert d'appareil de sûreté. Le liquide employé est un mélange de glycérine et d'eau, ne se congelant qu'à — 17°.

La manœuvre et l'entretien du foyer se font de l'extérieur de la voiture, sans que les voyageurs soient dérangés. La température des bouillottes peut être maintenue à 50° pendant huit à neuf heures sans addition de combustible.

Chauffage continu. — Tous les appareils dont nous venons de parler, qui ne donnent qu'un chauffage intermittent, sont évidemment imparfaits ; ils ne peuvent pas fournir une solution complète du problème du chauffage des voitures à voyageurs. C'est dans les appareils à chauffage continu qu'il faut, suivant nous, chercher cette solution.

Les différents systèmes employés pour obtenir un chauffage continu peuvent, avons-nous dit, être divisés en deux groupes : les poêles et les appareils à circulation d'air chaud, d'eau chaude ou de vapeur.

Poêles. — Sur les réseaux où l'on se sert d'un matériel qui n'est pas séparé en compartiments, la question du chauffage est beaucoup plus simple

[1] Compagnie du Nord. Exposition universelle de 1889.

[2] Compagnie de l'Ouest. Exposition universelle de 1889.

qu'en France, les grands espaces pouvant facilement être chauffés au moyen de poêles. C'est cette solution qui a été adoptée pour les bureaux ambulants de la poste, pour certaines voitures de troisième et de quatrième classe en Allemagne et en Russie, pour les grandes voitures américaines et, en général, pour tout le matériel dans lequel les agents du train peuvent s'occuper pendant la marche de l'entretien et de l'alimentation des poêles.

Ce système a l'inconvénient de distribuer très inégalement la chaleur dans les différentes parties de la voiture ; la température, souvent très élevée dans le voisinage du poêle, est généralement trop basse à une certaine distance. De plus, si la fermeture des différentes parties qui composent le poêle n'est pas absolument hermétique, ce qui peut arriver fréquemment, les voyageurs courent risque d'être empoisonnés ou au moins fortement incommodés par les gaz qui proviennent de la combustion.

Enfin, la présence des poêles dans les voitures a eu parfois pour résultat d'aggraver beaucoup les conséquences des collisions de trains et de transformer en véritables désastres, par suite des incendies qu'ils ont causés, des accidents qui, sans eux, auraient été beaucoup moins graves.

Ces différentes raisons devraient, à notre avis, faire bannir absolument de l'exploitation des chemins de fer l'usage des poêles pour le chauffage des voitures.

Appareils à circulation de chaleur. — Les appareils dont il nous reste à parler maintenant, qui ont pour caractère commun d'envoyer dans les compartiments de la chaleur produite par une source placée à l'extérieur, nous paraissent au contraire résoudre en principe d'une manière satisfaisante le problème du chauffage.

Les appareils à *circulation d'air chaud*, qui sont employés en Suisse, en Amérique et sur quelques chemins de fer d'Allemagne, ne sont autre chose que des poêles calorifères, placés en dehors du véhicule qu'ils sont destinés à chauffer. Un foyer, généralement situé sous la voiture, est enveloppé d'une chambre à air, qui est mise en communication avec les différents compartiments au moyen de tuyaux : l'air chaud arrive dans la caisse par des bouches de chaleur placées vers le bas ; il s'échappe ensuite par des ouvertures ménagées à cet effet sous le pavillon.

Ce système se prête bien à la ventilation des voitures ; il donne beaucoup de chaleur et son prix de revient n'est pas très élevé.

Il paraît donc supérieur à tous les points de vue aux différents systèmes de bouillottes et de chaufferettes dont nous avons parlé ; toutefois on lui reproche de donner une chaleur trop sèche et peu agréable pour les voyageurs. La compagnie de l'Est, qui a fait de nombreux essais pour appliquer ce mode de chauffage à ses voitures, a constaté que les voyageurs avaient

généralement la tête plus chaude que les pieds et qu'ils manifestaient leur mécontentement soit en quittant les voitures chauffées de cette manière, soit en ouvrant les glaces des portières.

Les appareils à *circulation d'eau chaude* n'ont pas le même inconvénient. Ils ont été appliqués en France pour la première fois, en 1873, par la compagnie de l'Est sous le nom d'appareils à *thermo-syphon*. Il a reçu depuis cette époque un grand nombre d'applications sur les autres réseaux français. Voici comment ils ont été installés sur un certain nombre de voitures de la compagnie de l'Ouest[1].

Étudié en vue de supprimer les manutentions gênantes auxquelles donne lieu l'emploi des bouillottes mobiles, le thermo-

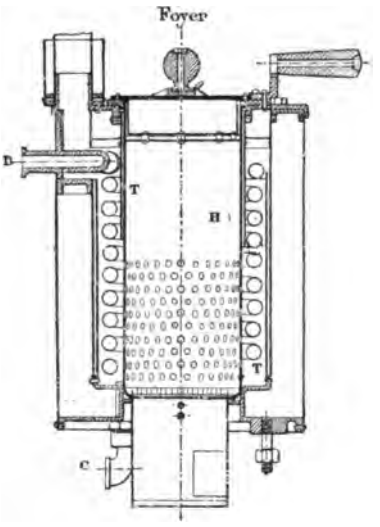


Fig. 542. — Thermo-syphon de la compagnie de l'Ouest.

Coupe transversale.

Coupe longitudinale.

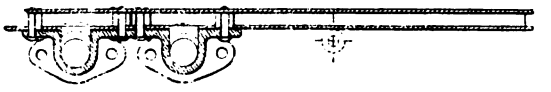


Fig. 543. — Thermo-syphon de la compagnie de l'Ouest. Chaufferette.

syphon permet de chauffer sur place, au moyen d'un foyer unique à combustion lente, des chaufferettes fixes installées à demeure dans le plancher des compartiments.

Le foyer H (fig. 542), composé d'un cylindre en tôle percé de trous, est placé sous une des traverses extrêmes du véhicule, de manière à permettre le chargement du combustible sans gêner l'entrée des voyageurs.

Un tube T, contenant l'eau à échauffer, est enroulé en serpentin autour du foyer et à une faible distance de ce dernier. L'eau chaude se rend par le tube B du serpentin dans les chaufferettes, où des cloisons l'obligent à suivre un circuit déterminé, de manière à fournir une température égale sur toute la surface des chaufferettes. Elle redescend ensuite à la partie inférieure du serpentin par le tube C.

Les chaufferettes, installées dans toute la largeur des compartiments sous les pieds des voyageurs au niveau du plancher, ont la forme représentée par la figure 543. Un vase d'expansion permet la dilatation du liquide et

[1] Compagnie de l'Ouest. Exposition universelle de Paris 1889.

sert en même temps d'appareil de sûreté, pour le cas où la température d'ébullition se trouverait atteinte dans le thermo-syphon.

Dans les premières applications de ce système de chauffage, le liquide employé était de l'eau et il arrivait parfois que, le feu venant à s'éteindre en route, le liquide se congelait. On évite cet inconvénient en additionnant l'eau de glycérine, environ par moitié. Le volume du liquide est d'ailleurs réduit au minimum par l'emploi des chaufferettes plates dans lesquelles la lame d'eau a seulement 10 millimètres d'épaisseur.

On emploie comme combustible des briquettes de charbon de bois.

L'appareil de la compagnie de l'Ouest permet de chauffer deux compartiments, pendant cinq heures environ, sans recharger le foyer. On en installe deux pour le chauffage des voitures à quatre compartiments, un à chaque extrémité de la voiture.

Des appareils fondés sur le même principe ont été appliqués par la compagnie de l'Est à un certain nombre de voitures des trois classes, pour le chauffage de bouillottes fixes encastrées dans le plancher des compartiments. La chaudière, de très petites dimensions, est en fonte ainsi que son enveloppe ; le combustible employé est le coke. Le vase d'expansion, également en fonte, est placé à l'intérieur sur le plancher de la voiture ; il communique, par sa partie inférieure, avec le tuyau de retour de l'eau à la chaudière.

La compagnie d'Orléans a également appliqué le thermo-syphon au chauffage de ses voitures à lits-toilette, ainsi qu'à certaines de ses voitures de première classe à intercirculation. Deux appareils chauffent chacun la moitié de ces voitures ; un mécanisme de réglage, placé auprès de chaque chaufferette, permet d'arrêter à volonté la circulation de l'eau pour régler la température. Le couloir de la voiture est chauffé par les tuyaux des deux poêles, autour desquels on a ménagé une circulation d'air.

Certaines voitures de 1re classe de la compagnie P.-L.-M. sont également chauffées au moyen du thermo-syphon.

Ce système, assez répandu en France, paraît donner des résultats satisfaisants.

Dans les expériences, faites pendant deux hivers à la compagnie de l'Est, sur des voitures chauffées par thermo-syphon, il a été constaté :

1° Que les températures mesurées près du plancher et sous le pavillon différaient très peu les unes des autres et qu'elles étaient en moyenne supérieures de 10° à la température extérieure ;

2° Que les températures mesurées sur les chaufferettes se maintenaient à peu près uniformément à 50 à 60 degrés au-dessus de la température extérieure.

Ce système permet donc de chauffer d'une manière très suffisante les

voyageurs de toutes classes ; il est parfaitement sain et à l'abri de toute émanation de gaz délétère ; enfin il supprime complètement le dérangement des voyageurs en cours de route, puisque la manœuvre des appareils se fait de l'extérieur. On peut seulement lui reprocher une assez grande lenteur à prendre la température voulue pour le voyage ; il faut, en effet, au moins deux heures de chauffage pour la mise en train des appareils.

Il nous reste à parler, pour en avoir terminé avec la question du chauffage, des appareils à *circulation à vapeur*, appliqués depuis longtemps en Allemagne sur un certain nombre de réseaux et adoptés plus récemment en France pour le chauffage des voitures de certains trains express et rapides.

Les appareils de chauffage consistent généralement en tuyaux métalliques placés dans les voitures entre le plancher et le dessous des sièges. Ces tuyaux communiquent par des branchements avec une conduite générale de vapeur établie sous le châssis de chaque véhicule, et se raccordant, d'une voiture à l'autre, au moyen de tuyaux en caoutchouc. Cette conduite aboutit à une prise de vapeur installée, soit sur la chaudière de la locomotive, soit sur une chaudière spéciale. On envoie la vapeur par intermittences dans les tuyaux de chauffe ; elle s'y condense en les échauffant, ainsi que les compartiments.

L'expérience a montré qu'on ne peut guère chauffer efficacement plus de 12 à 15 voitures au moyen de la vapeur prise sur la locomotive. Au delà de ce nombre, l'abaissement de température serait trop grand dans les dernières voitures. On installe dans ce cas une seconde montée sur un fourgon, qui sert à chauffer la deuxième partie du train.

Ce système de chauffage possède une grande énergie calorifique ; il peut en effet, donner, au moyen d'une dépense de 2 kilogrammes de houille et de 14 kilogrammes d'eau par heure et par voiture de 4 compartiments, une température dépassant de 12, 15 et même 20 degrés la température extérieure. En augmentant la dépense de combustible, on augmenterait d'ailleurs la puissance calorifique ; on a obtenu sur l'État bavarois + 20 degrés dans les compartiments, alors que la température extérieure était de — 18°75 ; on a même été jusqu'à + 12 degrés avec un froid extérieur de — 32 degrés. Ce mode de chauffage possède donc, à un degré remarquable, une faculté précieuse : celle de pouvoir se régler d'après l'état de la température extérieure, c'est-à-dire de proportionner l'action de la vapeur à l'effet utile qu'il est nécessaire de produire. C'est là un avantage que ne possède aucun des autres systèmes que nous avons décrits. Enfin il permet de chauffer un train entier au moyen d'un ou deux foyers, entretenus avec la plus grande facilité pendant la marche.

Il paraît donc, à ces différents points de vue, bien supérieur à tous les

autres modes de chauffage. On lui a reproché, d'autre part, les inconvénients suivants [1]:

1° Elévation des frais d'installation et d'entretien;

2° Complication et délicatesse des appareils;

3° Danger de congélation de l'eau dans les tuyaux;

4° Danger résultant des chaudières spéciales;

5° Enfin, difficultés inhérentes à la communication obligée des voitures.

Le premier reproche est le seul qui ait une certaine importance; encore faudrait-il être sûr qu'il est fondé. C'est ce que nous examinerons tout à l'heure, quand nous comparerons les prix de revient des divers systèmes de chauffage.

Quant aux autres objections, elles paraîtront n'avoir qu'une bien faible portée, si l'on veut bien réfléchir que ce sont des objections d'une nature semblable qu'on faisait autrefois à l'emploi des freins continus, qui fonctionnent aujourd'hui d'une manière si remarquable et dont l'application constitue assurément un des plus grands progrès qui aient été réalisés dans l'exploitation des chemins de fer.

Il est certain que les organes des appareils de chauffage à la vapeur sont délicats et qu'ils ont besoin d'être établis et entretenus avec beaucoup de soin. Est-ce une raison pour repousser ce système de chauffage, dont l'effet utile est si grand?

Le danger de congélation de l'eau dans les tuyaux est aussi un inconvénient, mais il est facile à éviter, en n'oubliant pas d'ouvrir tous les tuyaux après la marche d'un train et en ayant soin que l'admission de vapeur soit toujours suffisante [2].

Le danger d'explosion des chaudières spéciales est bien faible et, quant aux difficultés inhérentes à la communication des voitures, on sait aujourd'hui les vaincre parfaitement pour les freins continus. Pourquoi n'en triompherait-on pas aussi bien en ce qui concerne le chauffage des voitures?

Résumé et conclusions. — Pour comparer, au point de vue de la dépense, les différents systèmes de chauffage, M. Goschler suppose qu'on les applique aux voitures d'une ligne de 300 kilomètres de longueur, desservie chaque jour par quatre trains dans chaque sens, marchant à une vitesse moyenne

[1] Regray, ouvrage cité.

[2] A la compagnie de l'Est on a combiné l'emploi de la vapeur avec celui de l'air comprimé; on y a trouvé l'avantage de supprimer la condensation de la vapeur dans les tuyaux et par suite la congélation de l'eau dans les périodes de grands froids. Voir à ce sujet une note de M. Lancrenon, *Revue générale des Chemins de fer*, novembre 1903.

Voir également (même publication, février 1907) une note sur le chauffage des trains par la vapeur, système Heintz, appliqué sur le réseau du Midi, et qui paraît être plus efficace que le système ordinaire pour le chauffage des trains longs.

de 30 kilomètres à l'heure, chaque train comprenant 10 voitures de voyageurs à 4 compartiments.

Avec ces données, il trouve, au moyen d'un calcul que nous ne reproduisons pas, que les dépenses peuvent être évaluées de la manière suivante, tant au point de vue des frais de premier établissement qu'à celui des frais d'exploitation :

SYSTÈMES DE CHAUFFAGE	DÉPENSES de premier établissement par compartiment.	DÉPENSES D'EXPLOITATION par compartiment.	
		Prix de l'heure de chauffage.	Dépense journalière (20 heures).
	fr.	fr.	fr.
Bouillottes à eau	187,50	0,0469	0,937
Chaufferettes à feu	176,06	0,0750	1,500
Calorifères à air chaud . . .	143,75	0,0375	0,750
— à eau chaude. . .	170 »	0,0353	0,707
— à vapeur.	150 »	0,0333	0,666

Nous laissons de côté le chauffage par poêles, qui est inadmissible pour les raisons que nous avons données.

On voit que, d'après ces chiffres, les trois derniers systèmes, les seuls, acceptables parce que ce sont les seuls qui donnent véritablement de la chaleur ont des prix à peu près comparables.

Le premier de ces systèmes a l'inconvénient de donner une chaleur désagréable et trop sèche. Les deux autres fournissent, suivant nous, les deux meilleures solutions du problème du chauffage des voitures. Ils chauffent bien et sans aucune incommodité pour les voyageurs ; le dernier surtout, qui permet de chauffer un train entier, lorsqu'il n'est pas trop long, au moyen d'une seule source de vapeur, commodément manœuvrée et surveillée pendant la marche, et de graduer l'intensité du chauffage d'après le froid que l'on a à combattre, nous paraît être celui qui résout le problème de la manière la plus avantageuse à tous égards.

CHAPITRE IV

WAGONS A MARCHANDISES

Ancienne variété des types, ses inconvénients. — Leur réduction à trois types principaux. Wagons plates-formes. — Wagons tombereaux. — Wagons fermés et couverts. — Wagons spéciaux. — Construction des wagons. — Poids mort et chargement des wagons. — Wagons américains.

Le matériel à marchandises comportait, à l'origine des chemins de fer, une grande variété. On avait multiplié les types, afin de les approprier le mieux possible à la nature des matières à transporter. Mais on n'a pas tardé à reconnaître que cette variété avait de grands inconvénients.

Des wagons qui arrivaient à une gare, chargés d'une certaine nature de marchandises, ne pouvaient en repartir chargés des marchandises de nature différentes que la gare avait à expédier ; on était donc obligé de les renvoyer vides et d'en faire venir d'autres, vides également, pour les charger de ces marchandises. Il y avait là une source de fréquentes fausses manœuvres.

On a donc réduit de beaucoup le nombre des types de wagons et aujourd'hui on peut faire rentrer la plupart de ceux qu'on emploie dans les trois classes suivantes :

1° Les *wagons plates-formes* (fig. 544 à 546), qui peuvent être ou absolument dépourvus de bords, ou garnis de bords peu élevés. On les emploie pour le transport des marchandises qui se présentent par grandes masses et qui n'ont besoin d'être ni soutenues, ni abritées contre la pluie, comme les pierres de tailles, les pièces de bois, etc. On peut même, moyennant l'addition d'une bâche, les faire servir au transport des marchandises qui craignent l'eau.

2° Les *wagons tombereaux*, fermés sur les côtés et découverts en haut. Ils diffèrent des précédents en ce que leurs bords sont plus élevés et munis de portes sur leurs faces longitudinales ; ils forment, comme leur nom l'indique, de véritables tombereaux, dans lesquels on charge principalement les matières qui ont besoin d'être maintenues sur les côtés, telles que le charbon, les pierres cassées, les minerais et leurs dérivés, etc. On les emploie également,

en les couvrant d'une bâche, pour transporter certains produits qui craignent les intempéries, comme le blé. C'est le type de wagon qui se prête aux transport les plus variés.

3° Les *wagons fermés et couverts* (fig. 547 et 548). Leurs parois longitudinales sont fermées par des panneaux roulants ou par des rideaux ; on les em-

Wagon plate-forme de la compagnie P.-L.-M. (Echelle de 0,015 m. par mètre.)

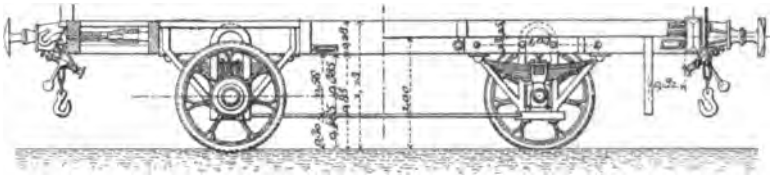


Fig. 544. — Coupe longitudinale et élévation.

ploie pour le transport des marchandises qui ont le plus besoin d'être soustraites aux influences atmosphériques et, en particulier, pour les bestiaux.

Indépendamment de ces trois types de wagons, avec lesquels on suffit généralement à tous les besoins, on rencontre sur certaines lignes des wagons, dits *spéciaux*, qui sont affectés à certains transports déterminés ; tels sont les wagons à lait, à bière, à houille, etc. Quelquefois la spécialisation de ces wagons n'est pas

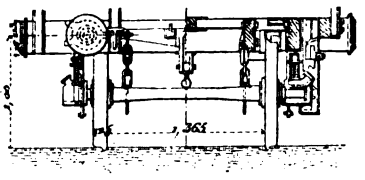


Fig. 545. — Vue par bout et coupe transversale.

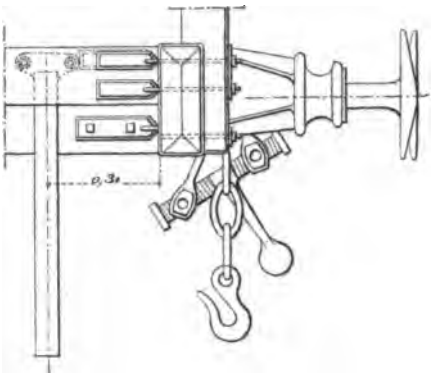


Fig. 546. — Détail des extrémités $\left(\frac{1}{20}\right)$.

absolument rigoureuse et ils peuvent être employés au transport de marchandises de diverses natures.

La détermination du nombre des wagons de marchandises des diverses catégories à employer sur un réseau est une question qui a une grande importance au point de vue de l'exploitation. Elle dépend naturellement de l'intensité et de la nature du trafic à desservir. On peut dire qu'en général les wagons tombereaux sont ceux qui s'appliquent à la plus grande partie des transports et que c'est cette catégorie de wagons qui doit dominer dans l'ensemble du matériel à marchandises.

Construction des wagons. — Nous avons peu de choses à dire sur la cons-

truction des wagons ; on les établit, en général, d'après les mêmes principes que les voitures à voyageurs, mais d'une manière plus grossière.

La principale différence à signaler est la suivante : dans les voitures, le train et la caisse sont toujours indépendants l'un de l'autre, afin que chaque partie puisse, en cas d'avarie, être réparée sans qu'il en résulte l'immobilisation de l'ensemble de la voiture ; dans les wagons, au contraire, la caisse est généralement solidaire du châssis, sur lequel sont assemblés les montants. Cette disposition est plus économique, mais elle est évidemment moins commode au point de vue de l'entretien.

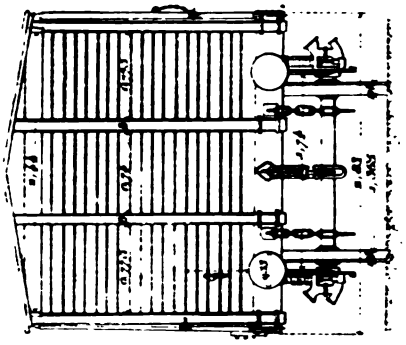


Fig. 518. — Vue par bout.

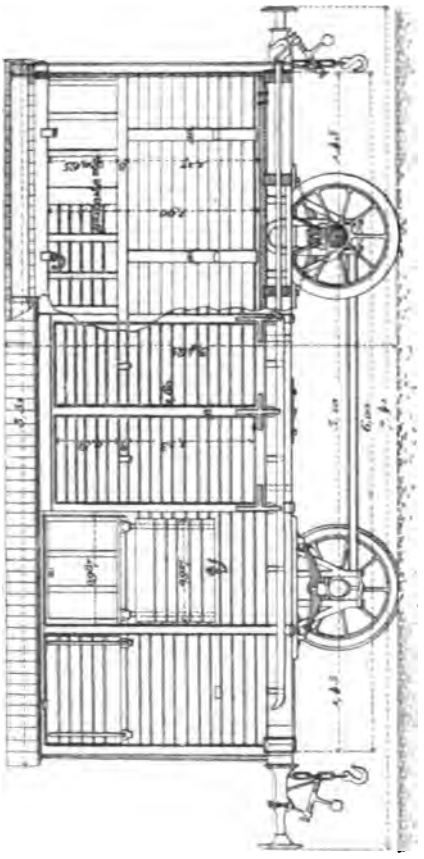


Fig. 517. — Élévation et coupe longitudinale.

Wagon couvert pour marchandises et bestiaux. Compagnie d'Orléans (Échelle de 0,015 m. par mètre)

Les châssis du matériel à marchandises sont, comme ceux des voitures à voyageurs, en bois, en fer ou mixtes. Leur mode de construction est à peu près le même ; en général, les dimensions des pièces sont un peu plus fortes, en raison des différences qui existent dans la disposition des appareils de choc et de traction.

Ces appareils sont, en effet, plus simples dans le matériel à marchandises et leur flexibilité est moins grande.

La course des tampons y est aussi plus faible, afin de diminuer l'amplitude du recul des wagons après l'arrêt des trains, ordinairement très long.

Pendant assez longtemps on s'est contenté, pour l'attelage des wagons à marchandises, d'employer des chaînes qui réunissaient les crochets d'attelages. Cette disposition a été peu à peu remplacée par l'application de tendeurs à vis, semblables à ceux des voitures à voyageurs.

En Allemagne les conventions techniques de l'Union, rédigées à Gratz en 1882, ont signalé comme nécessaire l'adoption générale des tendeurs à vis pour les wagons et décidé que des chaînes d'accouplement, qui étaient encore en service à cette époque, devraient être remplacées au plus tard le 1er janvier 1886 par les tendeurs à vis.

Nous avons dit déjà que les wagons à marchandises sont munis de ressorts de suspension comme les voitures à voyageurs ; seulement ces appareils sont plus courts, ont une flexibilité plus faible et une flèche de fabrication plus grande. La suspension des wagons est donc moins douce que celle des voitures, ce qui s'explique naturellement par ce fait qu'elle est uniquement établie en vue de ménager le matériel.

Le plus souvent le châssis porte directement sur les extrémités des ressorts ; quelquefois cependant ceux-ci sont munis d'articulations ou de menottes comme dans le matériel à voyageurs. Cet usage est général dans le matériel à marchandises des chemins de fer allemands ; il est d'ailleurs recommandé par les conventions techniques de Gratz, qui conseillent également de ne pas adopter, pour les wagons, de ressorts dont la longueur soit inférieure à un mètre.

Wagons plates-formes. — La caisse des wagons plats se compose, soit d'un simple plancher sans bords, soit d'un plancher garni de bords peu élevés, ayant de $0^m,20$ à $0^m,40$ de hauteur au-dessus du châssis. Ces bords sont quelquefois munis de charnières horizontales qui permettent de les rabattre.

On emploie surtout les wagons plats pour le transport des matériaux de constructions : pierres de taille, moellons, sable, ballast, fers, tôles, pièces de fonte, pièces de bois, etc. Ils servent également pour le transport des voitures.

Des wagons plats à bouts tombants et à bords latéraux fixes sont usités pour le transport des longues pièces de bois de construction ; ils facilitent, en effet, le chargement de ces pièces et permettent, au besoin, l'accouplement des deux plates-formes. Souvent les wagons destinés au transport de longues pièces portent des traverses à pivot, sur lesquelles on les place, de manière qu'elles ne causent aucune gêne pour le passage dans les courbes.

Quoique les marchandises qu'on charge habituellement sur les plates-formes aient peu de chose à redouter de l'action de la pluie, les parois de ces wagons portent cependant des anneaux qui permettent de les recouvrir une bâche, lorsque cette précaution est nécessaire.

Les bâches se font en cuir ou en toile, quelquefois en bourre de soie. Les premières sont plus durables, mais elles coûtent fort cher ; on doit les entre-

tenir avec soin dans un état de graissage suffisant pour leur conserver leur souplesse. Elles peuvent durer environ quinze ans.

Les bâches en toile à voile sont les plus usitées ; elles doivent être recouvertes d'une substance destinée à les rendre imperméables, telle que le suif, l'huile le lin, le goudron ou le caoutchouc. Elles ne durent guère que cinq ans.

Quelle que soit la substance employée pour leur fabrication, les bâches sont un accessoire extrêmement coûteux des wagons à marchandises ; leur entretien doit donc être l'objet des plus grands soins de la part des agents qui les emploient. On doit recommander particulièrement de ne pas enrouler une bâche qui a été mouillée avant de l'avoir fait sécher convenablement.

Wagons-tombereaux. — Ce type de wagons est, ainsi que nous l'avons dit, celui qui se prête aux chargements les plus variés ; c'est celui qui rend les meilleurs services. Il permet, en effet, de charger les marchandises à

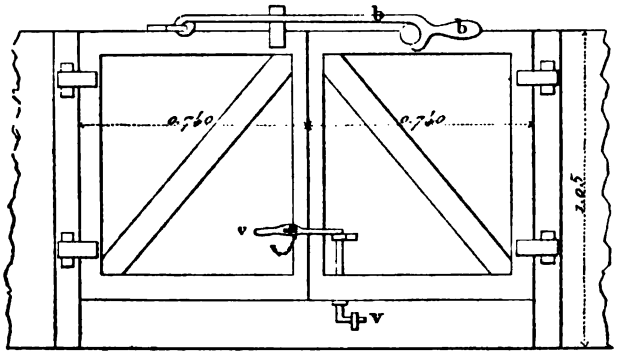


Fig. 549. — Porte des tombereaux de l'Est français $\left(\frac{1}{25}\right)$.

la grue, ce qui est beaucoup plus rapide et économique que le chargement à bras d'hommes, nécessaire avec les wagons couverts ; en outre, en recouvrant les marchandises d'une bâche on les soustrait suffisamment à l'humidité pour pouvoir transporter au moyen de ce type de wagon des céréales, de la chaux, des minerais et un grand nombre de matières.

Les bords latéraux ont généralement de 0,50 m. à 1 mètre hauteur, les bords transversaux sont souvent disposés en forme de pignon et réunis à leur sommet par une pièce longitudinale, qui maintient leur écartement et facilite le bâchage.

Les portes placées sur les côtés sont, le plus souvent, formées de deux vantaux à charnières verticales ; elles se ferment au moyen de verrous. Il est nécessaire que la fermeture de ces portes soit très solide, pour éviter qu'elles ne s'ouvrent pendant la marche, ce qui pourrait causer de graves accidents, lorsque deux trains se croisent sur les voies parallèles.

La fermeture des tomberaux de l'Est français, représentée par la figure 549, comporte à la partie supérieure une barre d'accrochage, *bb* et en bas une espagnolette qui relie les vantaux entre eux et avec le longeron.

Wagons fermés. — Ces wagons conviennent aux marchandises qui ont besoin d'être protégées contre les intempéries, soit à cause de leur valeur, soit par suite de leur emballage insuffisant. Ils ont l'inconvénient de ne pas permettre le chargement à la grue, par suite du toit dont ils sont recouverts, à moins que, comme sur certains chemins anglais, on ne prenne le parti de ménager dans la toiture plusieurs ouvertures fermées par des panneaux mobiles ; mais cette solution a elle-même l'inconvénient de ne pas assurer toujours d'une manière parfaite l'étanchéité de la toiture.

Les wagons fermés sont munis latéralement de portes à vantaux, qui glissent au moyen de galets à gorge sur un chemin de roulement en fer Les panneaux de la caisse peuvent être pleins sur toute leur hauteur ou comporter à leur partie supérieure des fenêtres qui se ferment de l'extérieur ou de l'intérieur.

Certaines compagnies remplacent les volets mobiles qui ferment ces fenêtres par des rideaux ; il en résulte une diminution dans le poids du véhicule.

Ce type de wagon, quand il comporte des panneaux pleins, convient bien pour les marchandises de douane ; muni de panneaux mobiles, il permet le transport des marchandises variées en vrac et celui des bestiaux.

Wagons spéciaux. — Il existe un assez grand nombre de wagons spécialement appropriés au transport de certaines marchandises, soit parce que ces marchandises se présentent en quantité plus notable dans certaines régions, soit parce qu'elles exigent des précautions particulières pour leur chargement.

Nous citerons, par exemple, les *wagons à bestiaux*. On peut transporter les bestiaux dans les wagons couverts ordinaires, pourvu qu'ils soient munis d'ouvertures pour l'aérage. Mais, dans les régions où le trafic des bêtes à corne a une grande importance, on emploie aussi des types spéciaux de wagons pour les transporter. Ils doivent être disposés de manière à permettre aux animaux de ne pas manquer d'air et de prendre leur nourriture en cours de route ; il est bon également que les madriers du plancher comportent dans leurs joints un certain nombre de fentes longitudinales pour l'évacuation des déjections.

On s'est servi pendant longtemps, pour le transport de la *houille*, de wagons spéciaux dont le fond était muni de trappes, destinées à en per-

mettre le déchargement sur estacades. Ces véhicules ont peu à peu disparu de nos chemins de fer et les wagons à houille se confondent généralement aujourd'hui avec les tombereaux.

Les wagons destinés au transport du *lait*, aux abords des grandes villes, sont des tombereaux à claire-voie permettant une aération énergique indispensable pour la conservation de ce liquide.

On trouve aussi des wagons spéciaux pour la *bière*, produit très impressionnable, qui craint également l'excès de chaleur et de froid. Pour les transports à grande distance de ce liquide, on le charge en fûts dans des wagons couverts à double paroi et on entoure de glace la capacité intérieure qui contient des fûts de manière à entretenir une température assez basse, de 4 à 5° au-dessus de zéro.

Le transport des *longues pièces de bois* peut se faire, ainsi que nous l'avons dit, sur les plates-formes ordinaires, accouplées au moyen d'un attelage spécial, articulé et rigide, de manière à empêcher tout déplacement longitudinal du chargement. On peut aussi effectuer la liaison en intercalant, entre les deux plates-formes chargées, une troisième plate-forme vide qui sert simplement à relier les deux autres. On peut enfin se servir de wagons spéciaux à six ou à huit roues, pouvant porter vingt à vingt-deux tonnes de pièces de bois d'une vingtaine de mètres de longueur.

C'est au moyen de wagons analogues qu'on fait le transport des *grandes tôles* et des *longs fers*. La compagnie du Nord emploie dans ce but une longue plate-forme de 15 mètres de longueur reposant sur deux trains, de deux essieux chacun, reliés l'un à l'autre par une flèche d'accouplement. L'écartement des essieux de chaque train est de 1,80 m. ce qui permet aux wagons de passer facilement dans les courbes ; le poids mort à vide est de 16 900 kilogrammes ; il peut recevoir un chargement de vingt-cinq tonnes [1].

Signalons encore, parmi les wagons spéciaux, les wagons à ballast, les wagons de secours portant un outillage destiné à permettre la remise sur rails des véhicules déraillés, les grues roulantes et enfin les wagons servant au transport des matières dangereuses ou infectes, dont la disposition est étudiée en vue de répondre à la destination toute spéciale qui leur est affectée.

Poids mort et chargement des wagons. — Sur l'ensemble des réseaux français, le poids brut moyen des wagons à marchandises varie de 5 à 8 tonnes pour les wagons ordinaires.

Quant à la capacité du chargement, elle tend sans cesse à augmenter, en raison des facilités plus grandes que procure à l'exploitation l'usage des

[1] Compagnie du Nord. Exposition universelle de Paris, 1889.

wagons de grande capacité. C'est ainsi qu'autrefois des wagons pouvant porter 10 tonnes étaient considérés comme exceptionnels, alors qu'actuellement, c'est la capacité courante des wagons à marchandises sur tous les réseaux. On emploie même depuis quelques années, quoique en petit nombre, des wagons pouvant porter 20, 30 et 40 tonnes.

Ces wagons sont naturellement d'un poids mort plus élevé que les autres: il atteint et dépasse même 9 à 10 tonnes.

Les chiffres indiqués ci-dessus pour le chargement des wagons correspondent, bien entendu, au chargement maximum que les wagons peuvent porter ; leur charge moyenne en exploitation est nécessairement beaucoup moindre. Elle varie beaucoup avec la nature des marchandises transportées. Sur l'ensemble du réseau français elle ne dépasse guère 5 tonnes.

Il y a un grand intérêt, au point de vue de l'utilisation du matériel, à ce que les wagons soient chargés aussi complètement que possible ; mais il faut d'un autre côté éviter avec soin les surcharges dangereuses pour les véhicules. Des instructions sont données dans ce sens aux agents de l'exploitation; en outre pour éviter toute erreur, chaque wagon porte d'une manière très apparente une inscription indiquant la limite de son chargement.

Matériel américain. — Les wagons à marchandises dont on se sert couramment aux États-Unis sont, comme les voitures à voyageurs, portés par deux trucks qui ont généralement deux essieux chacun; mais la longueur des caisses est beaucoup plus réduite que celles des caisses à voyageurs. Cette longueur ne dépassait pas une dizaine de mètres, il y a quelques années. Le poids mort des wagons variait de 9 à 11 tonnes et celui du chargement, de 9 à 12 tonnes. Il y avait donc à peu près égalité entre le poids mort et le poids utile maximum.

Dans ces dernières années les dimensions et la capacité du matériel ont augmenté et on trouve maintenant des wagons dont la longueur atteint 12 mètres environ et dont le poids à vide dépasse 20 tonnes; le chargement normal atteint souvent 30, 40 et même 45 tonnes.

CHAPITRE V

DISPOSITIONS DU MATÉRIEL EN VUE DE LA CIRCULATION DANS LES COURBES. UNITÉ TECHNIQUE DU MATÉRIEL

Matériel ordinaire ou rigide. Jeu entre les plaques de garde et les boîtes à graissage. — Matériel articulé, système Arnoux. — Matériel américain. — Bogies. — Articulation de Bissel. — Essieux convergents de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Unité technique du matériel roulant. — Conférence internationale de Berne (1886-1907).

Matériel ordinaire, ou rigide. — Nous avons déjà fait connaître en parlant des plaques de garde (chap. II, § 5) que le parallélisme des essieux, dans le matériel ordinaire des chemins de fer, est atténué dans une certaine mesure par un jeu ménagé entre les plaques de garde et les boîtes à graissage.

Ce jeu ε est donné par la formule

$$\varepsilon = \frac{Dd}{4R},$$

dans laquelle R désigne le rayon de la courbe, mesuré sur la file intérieure des rails;

D, l'écartement des essieux ;

d, celui des plaques de garde d'un même essieu.

Moyennant ce jeu, ménagé de part et d'autre de la position moyenne des essieux, ceux-ci peuvent prendre la position radiale qui correspond à la circulation en courbe et le matériel peut passer comme si le parallélisme des essieux n'existait pas. Ce jeu est très faible ; pour $R = 200$ m., la formule ci-dessus donne $\varepsilon = 8$ mm., avec le matériel ordinaire. Il n'a donc pas d'inconvénient au point de vue de la solidité de la construction et il ne produit pas le claquement des boîtes à graissage contre les plaques de garde.

Dans les voitures à six roues, il faut en outre que l'essieu du milieu ait un certain jeu dans le sens de sa longueur, de manière qu'il puisse se déplacer en s'éloignant du centre de la courbe pour permettre aux roues de ne pas quitter les rails. Ce jeu doit être le même de part et d'autre de la

ligne moyenne formée par les trois roues d'un même côté du véhicule et il est évidemment égal à la flèche f de l'arc qui a pour corde l'écartement des essieux, D. D'après une propriété connue des triangles rectangles, on a :

$$f = \frac{D^2}{4 \times (2R - f)},$$

où, en négligeant f devant 2R,

$$f = \frac{D^2}{8R}$$

Pour D = 3,60 m. et R, = 200 mètres, cette formule donne

$$f = 0{,}008 \text{ m.}$$

Ce jeu est donc du même ordre de grandeur que le précédent et n'a pas plus d'inconvénients que lui.

Avec la limite de courbure admise sur les lignes à voie normale, limite qui est en général de 300 mètres sur les chemins de fer secondaires, les dispositions qui précèdent suffisent pour permettre au matériel de circuler dans les courbes sans un accroissement sensible de la résistance développée en alignement droit. Le matériel ordinaire, ou *rigide*, passe même dans des courbes de rayon plus petit, par exemple au *Semring*, sur la ligne de Vienne à Trieste, où il circule dans des courbes de 190 mètres de rayon. La résistance des trains se trouve, il est vrai, notablement accrue, mais la traction se fait sans difficultés et sans danger, ce qui est l'essentiel, puisque les courbes d'un aussi faible rayon ne se rencontrent qu'à titre d'exception sur les chemins de fer à voie large.

Matériel articulé. — Il existe, indépendamment du faible jeu des essieux du matériel ordinaire, un assez grand nombre de dispositions spéciales destinées à permettre la circulation dans les courbes de rayon très petit. L'une des plus célèbres est celle qui a été imaginée par M. Arnoux, administrateur des Messageries, qui s'était proposé de constituer, en s'inspirant des anciennes diligences, un matériel de chemins de fer qui fît disparaître complètement l'obstacle de la courbure.

Ce matériel, connu sous le nom de *matériel articulé*, a reçu une application en grand, aux portes mêmes de Paris, sur la ligne de Sceaux ; il a fait beaucoup de bruit et occupé assez longtemps l'attention du public, à cause de l'influence qu'on pensait qu'il pourrait avoir sur les tracés de chemins de fer. Il ne présente plus aujourd'hui qu'un intérêt historique, attendu que, par un des articles de la convention du 28 juin 1883, la compagnie d'Orléans, qui exploite cette ligne, s'est engagée à exécuter les travaux de transformation nécessaires pour la ramener à la voie ordinaire.

Cette transformation est aujourd'hui un fait accompli et le matériel articulé est supprimé sur la ligne de Sceaux et il est probable que l'application qui en avait été faite sur cette ligne restera la seule. Il avait, en effet, l'inconvénient grave d'être d'un entretien coûteux et de ne pas se prêter aux grandes vitesses ; on ne pouvait donc pas, pour cette raison, l'admettre sur les grandes lignes. D'un autre côté, le matériel des grandes lignes ne pouvait pas pénétrer sur les chemins de fer de Sceaux, à cause des courbes très raides qu'il comportait. Cette ligne était donc condamnée à l'isolement, par suite du matériel spécial qui servait à l'exploiter, et c'est pour cette raison que sa transformation a été décidée.

Matériel américain. — De toutes les dispositions essayées en vue du passage dans les courbes, celle du matériel américain est la seule qui ait, jusqu'à présent, complètement réussi. Elle consiste, ainsi que nous l'avons vu, à faire reposer la caisse des véhicules sur deux petits chariots, à quatre roues en général, et dont les deux essieux, très rapprochés et invariablement parallèles entre eux, peuvent s'inscrire très facilement dans les courbes de faible rayon. Ces deux chariots portent le nom de *bogies* ou *trucks*. Ils sont reliés au châssis au moyen de deux chevilles ouvrières, autour desquelles chaque groupe d'essieux peut librement tourner, de manière que son axe prenne la position radiale qui est commandée par le rayon de la courbe.

Cette disposition est simple et efficace ; adoptée en Amérique, où elle était indispensable pour permettre la circulation en courbe des longues voitures employées dans ce pays, elle a été longtemps considérée en Europe comme inconciliable avec les grandes vitesses. Mais l'application qui en est faite depuis longtemps aux grandes voitures qui circulent sur la plupart des réseaux a montré que cette opinion était erronée et que les voitures portées par deux bogies sont au contraire celles qui conviennent le mieux pour les trains les plus rapides.

En Amérique, l'écartement des essieux des bogies est très faible ; il est très souvent de 1 mètre et dépasse rarement 2 mètres. Dans les voitures employées en France l'écartement est, en général, plus considérable : il est de 2,35 m. pour les voitures de la compagnie P.-L.-M., de 2,80 m. pour celles de la compagnie d'Orléans, de 2,40 m. pour celles du réseau de l'Etat.

L'emploi des bogies n'est pas restreint aux voitures ; il s'applique également aux locomotives. Nous y reviendrons donc quand nous nous occuperons des machines. Remarquons seulement ici que l'application des bogies aux voitures à grand écartement d'essieux résout complètement pour ces véhicules le problème de l'inscription dans les courbes, ce qui n'a pas lieu pour les machines.

La figure 550 montre, en effet, que, par suite de la symétrie parfaite qui existe entre les deux parties de la voiture de part et d'autre de son axe transversal, les deux chevilles ouvrières *cc* se placent librement sur la courbe moyenne *mm* formée par les deux files de rails, que les axes des deux groupes d'essieux, *aa* et *bb*, convergent vers le centre de la courbe et que

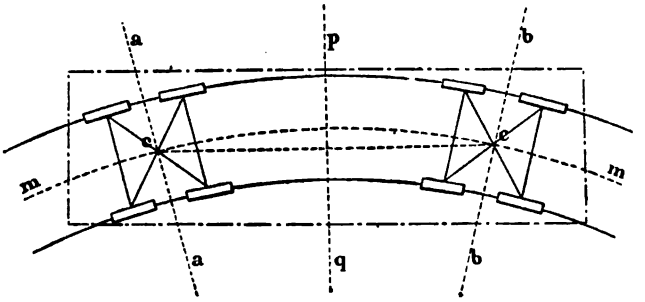


Fig. 550. — Voiture à bogie.

l'axe transversal du wagon, *pq*, passe également par le même point. Les deux groupes d'essieux peuvent donc prendre toutes les positions commandées par la courbure du tracé, sans que l'axe transversal du véhicule cesse d'être placé normalement à la voie. Nous verrons ultérieurement qu'il n'en est pas de même pour les machines.

Articulations de Bissel. — Si l'on suppose que la cheville ouvrière d'un bogie soit placée, non plus en son centre de figure, mais en un point situé sur le prolongement de son axe longitudinal, le bogie est dit à articulation de

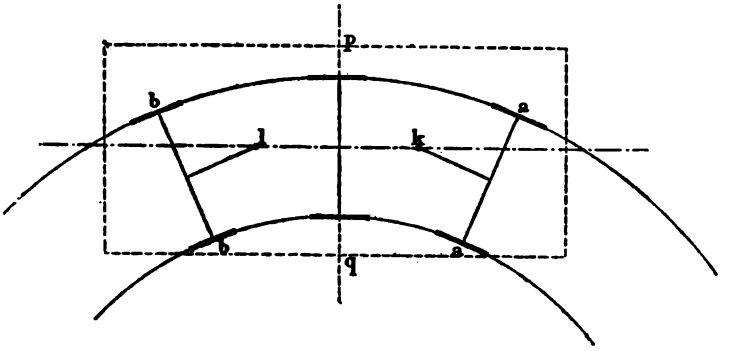


Fig. 551. — Articulation de Bissel.

Bissel. Cette disposition est, comme nous le verrons, employée pour les machines; elle convient également aux voitures, en réduisant à un seul les deux essieux du bogie. Elle donne d'ailleurs une solution très simple et très efficace du problème de la circulation en courbe.

Un essieu unique, mobile autour d'une cheville ouvrière placée en son milieu, ne peut se maintenir sur les rails que s'il est guidé. Or ce guidage

peut s'obtenir très simplement en déplaçant la cheville ouvrière et en la plaçant, d'après le principe du Bissel, soit en arrière, soit en avant de l'essieu, en un point situé sur l'axe longitudal du véhicule. La voiture circulant en alignement droit, l'essieu ne pourra se déplacer que dans les limites du jeu de la voie et son déplacement angulaire sera d'autant plus petit que sa distance à la cheville ouvrière sera plus grande. Cette distance est d'ailleurs déterminée par la considération suivante. En courbe, les deux essieux extrêmes *aa* et *bb* (fig. 551) doivent concourir au centre de la courbe en même temps que l'axe transversal du véhicule *pq*; cette condition ne peut être remplie que si les chevilles ouvrières sont placées en des points *k* et *l* situés à égale distance des essieux et de l'axe transversal *pq*.

Dans ce système, un troisième essieu placé au milieu est fort utile pour mieux fixer la position du châssis relativement à la voie.

Essieux convergents de l'Union des chemins de fer allemands. — La direction gérante de l'Union des chemins de fer allemands a publié (en 1887 et 1888) la description d'un certain nombre de types d'*essieux convergents de l'Union* (Vereins-Lenkachsen), qui ont été approuvés par la commission technique de cette grande association et qui ont été admis à à circuler, à partir du 1er décembre 1886, sur les lignes dont elle se compose[1].

La définition des essieux convergents est la suivante :

Ce sont des essieux isolés, dont la liaison avec le véhicule permet l'inscription radiale dans toutes les courbes admissibles jusqu'à un minimum déterminé. De la dénomination d'« essieux convergents de l'Union » doivent être exclus ceux des bogies à quatre roues ou plus, et les essieux isolés dont le jeu des fusées dans les courbes ne dépasse pas 5 millimètres, mesuré dans les boîtes de graissage suivant le sens de la longueur du véhicule et à partir de la position moyenne.

Les types approuvés par la commission technique de l'Union sont au nombre de sept, dont trois sont destinés aux véhicules à trois essieux avec ou sans frein, et peuvent entrer dans la composition de tous les trains; les quatre autres, destinés aux véhicules à deux essieux, ne peuvent entrer que dans les trains marchant à une vitesse inférieure à 50 kilomètres à l'heure.

Unité technique. — La Conférence internationale, qui s'est réunie à Berne le 10 mai 1886 pour arrêter les bases d'une unité technique des voies et du matériel des chemins de fer, a fixé, ainsi que nous l'avons vu, la lar-

[1] *Revue générale des chemins de fer* (août et septembre 1888).

geur de la voie ; elle a également déterminé les conditions d'admission du matériel roulant à la circulation internationale. Ces conditions ont été sanctionnées en France par un arrêté du ministre des Travaux publics en date du 31 mars 1887.

Une nouvelle réunion de la Conférence a eu lieu en mai 1907. Nous indiquons ci-dessous, bien qu'elles n'aient pas encore été sanctionnées par une décision ministérielle pour la France, les principales dispositions arrêtées dans cette nouvelle conférence.

Le matériel roulant des chemins de fer ne peut être exclu de la circulation internationale, pour des motifs de construction, lorsqu'il répond aux conditions suivantes :

Les dimensions (maximum et minimum) énumérées ci-dessous s'appliquent soit au matériel à construire, soit au matériel existant, sauf les dimensions spécialement indiquées entre parenthèses comme pouvant être tolérées pour le matériel déjà existant avant 1887.

	Maximum.	Minimum.
	mill.	mill.
1° *Ecartement des essieux* extrêmes des véhicules à construire . . . . . (Cette disposition ne s'applique pas aux bogies)	»	2 500
2° *Ecartement des roues d'un essieu*, mesuré entre les plans intérieurs des bandages	1 366	1 357
3° *Largeur des bandages*	150	130
Minimum toléré pour le matériel existant, à condition que l'écartement des roues soit d'au moins 1 360 millimètres.		(125)
4° *Ecartement extérieur des boudins*, mesuré à 10 millimètres en contrebas des cercles de roulement des deux bandages, ces cercles étant supposés écartés de 1 500 millimètres.	1 425	1 405
5° *Hauteur des boudins*, mesurée verticalement jusqu'au sommet des rails, les roues ayant la position normale, sur voie en alignement et en palier.	36	25
6° *Épaisseur des bandages* des roues, mesurée dans le plan du cercle de roulement.	»	25
7° *Les roues de fonte* coulées en coquille sont admises sous les wagons à marchandises non munis de frein.		
8° Les deux extrémités de tous les châssis de véhicules doivent être munies d'*appareils élastiques de choc et de traction.*		
9° *Hauteur des tampons* du sommet des rails au centre des tampons :		
Pour les véhicules vides.		1 065
Sous charge maximum.		940
Dimensions tolérées pour le matériel existant :		
Pour les véhicules vides	(1 070)	
Sous charge maximum		900
10° *Écartement des tampons*, d'axe en axe	1 770	1 710
Dimensions tolérées pour le matériel existant	(1 800)	(1 700)
11° *Diamètre des disques des tampons*	»	340
Minimum toléré pour le matériel existant..		(300)

	Maximum.	Minimum.
	—	—
	mill.	mill.
12° *Espaces libres aux extrémités des véhicules*, des deux côtés de l'appareil de traction, entre celui-ci, les plateaux des tampons et les pièces rigides faisant saillie sur la traverse de tête.	»	
Largeur		400
Profondeur, les tampons serrés à fond	»	300
Hauteur au-dessus du sommet du rail	»	1 800
13° *Saillie des tampons* sur le crochet de traction, mesurée parallèlement à l'axe du véhicule, entre l'intérieur du crochet non tendu et le front des tampons non serrés	400	300
Dimensions tolérées pour le matériel existant (voitures.	(430)	»
(wagons	(430)	(223)
14° *Longueur des attelages*, mesurée du front du tampon jusqu'à l'intérieur de l'étrier extrême, l'attelage étant entièrement étendu (tendeur desserré).	550	450
Aucune limite n'est fixée pour le matériel existant.		
15° *Petit diamètre de la section des étriers d'attelage* (étriers extrêmes) au contact du crochet de traction	35	25

16° *Attelages de sûreté.* — Les véhicules de chemins de fer doivent pouvoir être accouplés doublement, de telle façon que l'attelage de sûreté entre en fonctions lorsque l'attelage principal se rompt. Les véhicules avec attelage de sûreté central doivent aussi permettre l'attelage double avec les véhicules munis de chaînes de sûreté.

17° *Toute partie de l'attelage qui serait susceptible de descendre* à moins de 130 millimètres au-dessus du plan des rails devra pouvoir être relevée et maintenue à cette hauteur.

Pour le matériel existant, cette disposition entrera en vigueur le 1er janvier 1912.

Tous les véhicules doivent être munis de *ressorts de suspension.*

18° Les *manivelles des freins* doivent être disposées de façon que, lors du serrage des freins, elles tournent à droite (soit dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre).

19° Les *vigies des wagons* doivent être établies de telle façon que, lorsque deux vigies se trouvent vis-à-vis l'une de l'autre, la paroi pleine extrême de la vigie soit en arrière de la surface du tampon serré à fond de course. Distance horizontale de la paroi extrême au plan du front des tampons . . » 40

20° Les véhicules qui, en raison de leur *profil transversal*, ne pourraient circuler sur une ligne ou partie de ligne seront refusés.

21° Chaque véhicule doit porter des *inscriptions* indiquant :

I. — Le chemin de fer auquel il appartient ;

II — Un numéro d'ordre ;

III. — La tare ou le poids propre du véhicule, d'après le dernier pesage, roues et essieux compris ;

IV. — Le tonnage ou maximum de charge, sauf pour les voitures à voyageurs ;

V. — L'écartement des essieux extrêmes ou, lorsque le véhicule est à bogies, l'écartement des essieux extrêmes des bogies.

VI. — Une indication spéciale dans le cas où les essieux peuvent se déplacer radialement.

VII. — La date de la dernière révision.

VIII. — Pour les véhicules à graissage périodique, le délai de graissage, ainsi que la date du dernier graissage ;

IX. — Un signe particulier P pour les véhicules appartenant à des particuliers.

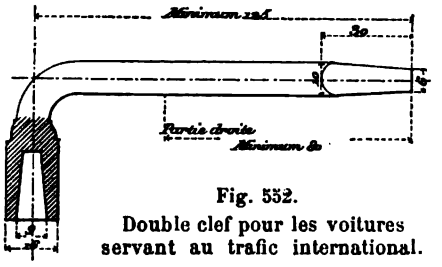


Fig. 552.
Double clef pour les voitures servant au trafic international.

22° *Les serrures des voitures à voyageurs servant au transit international*, en tant que les portes de ces voitures sont munies d'une fermeture à clef, doivent correspondre à l'un ou l'autre des deux types de clef réunis dans l'instrument (double clef) figuré par le dessin ci-dessus (fig. 552).

CHAPITRE VI

DÉPENSE D'ACQUISITION DU MATÉRIEL ROULANT. — RÉSUME DES DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT D'UN CHEMIN DE FER

1°r. — Dépense d'acquisition du matériel roulant. — Données statistiques. — Exemples d'effectif de matériel roulant.

2. — Résumé des dépenses d'établissement d'un chemin de fer.

§ 1r. — DÉPENSE D'ACQUISITION DU MATÉRIEL ROULANT

Le prix des voitures et wagons varie, ainsi que nous l'avons vu, d'après e degré de confortable et de luxe avec lequel ils sont établis.

Voici, d'après M. Picard [1], les prix unitaires des voitures et wagons sur 'un des grands réseaux français, celui du Nord :

Voitures	1re classe à 4 compartiments	18 000 fr.
	1re — à 3 —	15 000 —
	2e — à 4 —	9 000 —
	3e — à 50 places	7 000 —
Wagons	à bagages	5 500 —
	à marchandises (portes roulantes)	3 000 —
	à bestiaux	3 000 —
	tombereaux (pour houille)	2 400 —
	à coke (à ridelles)	2 500 —
	plates-formes	2 000 —
	de 12 tonnes pour marchandises	7 000 —

Le prix des grandes voitures à intercirculation et à bogies est naturellement beaucoup plus élevé, de même que celui des voitures de luxe ; il peut aller jusqu'à 30 000 et 40 000 francs. Celui des wagons à marchandises de 10 à 20 tonnes varie de 6 000 à 8 000 francs.

Pour le matériel courant, celui qui circule en France sur la plupart des lignes, à l'exclusion des voitures modernes et luxueuses réservées aux trains rapides, on peut admettre les prix moyens suivants qui sont donnés dans le *Cours de Chemins de fer* de M. Sévène.

[1] *Traité des chemins de fer*, t. III.

Voitures de 1re classe à 4 compartiments	10 000 fr.
— 2e — 4 —	7 600 —
— 3e — 5 —	6 000 —
Wagons à marchandises	2 500 —
En plus par frein	700 —

Le prix des machines locomotives varie d'après leur poids. Voici les prix du réseau du Nord, d'après M. Picard :

Machines Engerth (marchandises)	110 000 fr.
— de types divers pour trains de marchandises	53 000 à 57 000 —
— — de voyageurs.	40 000 à 59 000 —
Machines-tenders de gares	38 500 —

En moyenne, on peut admettre que le prix d'une locomotive d'un type courant est, en France, de 1,70 fr. par kilogramme ; ce prix se décompose comme il suit :

Main-d'œuvre	0,40 fr.
Matières premières	1,05 —
Frais généraux	0,25 —
Total égal	1,70 fr.

Le prix moyen du kilogramme de tender, dans les mêmes conditions, est 0,65 fr. à 0,70 fr.

Calculé d'après ces chiffres, le prix d'une locomotive de type courant avec son tender ressort à 75 000 francs environ. Celui d'une machine d'express de type moderne serait naturellement bien plus élevé.

Évaluons, au moyen des prix indiqués ci-dessus, la dépense d'achat du matériel roulant, machines et wagons, destiné à l'exploitation d'une ligne ; c'est une dépense qui fait partie du capital d'établissement de la ligne et qui doit être ajoutée à celles de la plate-forme et de la voie.

Le matériel roulant nécessaire à l'exploitation d'une ligne dépend naturellement de l'importance de la circulation à desservir ; mais il ne varie pas proportionnellement à cette circulation, si ce n'est lorsqu'elle est très active. Ponr les lignes à grande circulation on admet, en effet, que la valeur du matériel roulant nécessaire par kilomètre de ligne est égale au trafic annuel. Ainsi une ligne qui fait 60 000 francs de trafic par an a besoin, pour être exploitée, de 60 000 francs de matériel par kilomètre.

Cette règle est très simple, mais elle n'est à peu près exacte que pour les valeurs élevées du trafic, 50 000 à 60 000 francs par exemple. C'est, en effet, d'après les résultats de l'exploitation des grandes lignes qu'elle a été établie.

Pour les lignes secondaires elle donnerait des chiffres tout à fait insuffisants et cela se conçoit : pour ces lignes, ce n'est plus sur le trafic, mais sur

le nombre de trains à faire par jour qu'il faut régler la quantité de matériel et ce nombre de trains ne peut pas descendre au-dessous d'un certain chiffre, si faible que soit le trafic, afin de satisfaire à la commodité des voyageurs et aux délais d'expédition des marchandises.

Considérons une ligne desservie chaque jour par trois trains de voyageurs et deux trains de marchandises dans chaque sens, en comprenant sous cette dernière dénomination tous les trains accidentels, trains de travaux trains spéciaux, etc. Cela fait en tout 10 trains, parcourant tous les jours la longueur totale de la ligne ; le parcours total des trains au bout de l'année sera donc égal à 3 650 kilomètres par kilomètre de chemin exploité.

Sur les chemins de fer français les trains de voyageurs se composent, en moyenne, de 9 à 10 voitures et ceux de marchandises de 35 à 40 wagons[1]. Sur une ligne à faible circulation ces chiffres doivent être sensiblement réduits et on peut admettre pour les trains de voyageurs 6 à 7 voitures, y compris le fourgon, et pour les trains de marchandises 20 à 25 wagons. Cela donne, pour la composition moyenne d'un train, environ 15 véhicules, dont 3 de voyageurs et 12 de marchandises, en y comprenant le fourgon.

Dès lors, le parcours annuel des véhicules qui composent le matériel roulant de la ligne considérée s'établira, par kilomètre, de la manière suivante :

Machines.	3 650 kilomètres.
Voitures, 3 650 × 3, soit	10 950 —
Wagons, 3 650 × 12, soit.	43 800 —

Pour pouvoir déduire de là le nombre des véhicules de chaque espèce nécessaire pour desservir la ligne, il faudrait connaître le parcours annuel moyen de chacun de ces véhicules. Or, ce parcours est évidemment variable suivant le trafic.

En ce qui concerne les machines, on admet que le parcours moyen annuel qu'elles peuvent fournir sur des lignes de faible importance est, en tenant compte de leurs repos, de leurs réparations, etc :

Pour une machine à voyageurs	35 000 kilomètres.
— à marchandises.	25 000 —

soit en moyenne, 30 000 kilomètres[2].

[1] D'après les documents statistiques publiés par le ministère des Travaux publics, les chiffres sont les suivants, pour l'année 1904. Chemins de fer d'intérêt général :

Nombre moyen de véhicules pour un train de voyageurs	10.3
— — de marchandises.	36,4

[2] Le chiffre de l'année 1904, pour les chemins d'intérêt général, est le suivant :

Parcours annuel moyen d'une machine (voyageurs et marchandises) y compris les manœuvres de gare, les trains de ballast et de service . 38,729 kilomètres.

Le chiffre moyen, pour les années 1894 à 1903, a varié entre 36,000 et 40,000 kilomètres.

Pour les voitures et wagons, le parcours annuel moyen varie beaucoup d'un réseau à l'autre, suivant la nature et la répartition du trafic. Ce parcours s'est maintenu aux environs de 50 000 kilomètres pour les voitures de la grande vitesse sur le réseau d'intérêt général de 1894 à 1903; il a varié entre 14 000 et 16000 kilomètres dans la même période pour les wagons de marchandises [1].

Admettons, pour une ligne secondaire, les chiffres suivants :

Pour les voitures	40 000 kilomètres.
Pour les wagons	15 000 —

Dès lors, le nombre de véhicules de chaque espèce nécessaire par kilomètre sera :

Machines	$\frac{3\,650}{30\,000}$	soit	0,12
Voitures.	$\frac{10\,950}{40\,000}$	soit	0,27
Wagons.	$\frac{43\,800}{15\,000}$	soit	2,92

La dépense à prévoir pour l'achat du matériel roulant sera donc la suivante :

0,12 machine 75 000 fr. (y compris tender)	9 000 fr.
0,27 voiture à 7 600 fr	2 052 —
2,92 wagons à 2 500 fr.	7 300 —
	18 352 fr.

Soit, en tenant compte des véhicules spéciaux et des freins : 20 000 francs.

Données statistiques. — Exemples d'effectif de matériel roulant. — D'après les documents statistiques publiés par le ministère des travaux publics, voici (tableau p. 330) quel était, au 31 décembre 1904, l'effectif du matériel roulant des grands réseaux français d'intérêt général.

On voit que les nombres moyens de véhicules par kilomètre sont de beaucoup supérieurs à ceux que nous avons donnés plus haut pour une ligne secondaire ; ce résultat s'explique par l'importance du trafic des grandes lignes du réseau français.

[1] Les chiffres de l'année 1904 sont les suivants :

Parcours annuel moyen	d'une voiture à voyageurs.	50 392 kilomètres
—	d'un véhicule de grande vitesse.	49 016 —
—	d'un wagon à marchandises	14 027 —

DÉSIGNATION DES RÉSEAUX	LONGUEUR EXPLOITÉE au 31 décembre 1904.	NOMBRE de locomotives.	NOMBRE DE		ENSEMBLE des voitures et wagons.	NOMBRE PAR KILOMÈTRE			NOMBRE de voitures et de wagons à frein continu.	PARCOURS MOYEN DES VÉHICULES EN 1904		
			voitures à voyageurs.	Wagons de grande et petite vitesse.		de locomotives.	de voitures à voyageurs.	de wagons de grande et pet. vitesse.		Locomotives.	Voitures à voyageurs.	Wagons à marchandises.
	km.									km.	km.	km.
Nord	3 769	1 901	4 480	67 410	71 890	0,50	1,19	17,90	9 238	50 523	44 146	11 688
Est	4 948	1 420	3 745	36 348	40 093	0,29	0,75	7,35	6 110	40 617	60 019	17 371
Ouest	5 988	1 628	4 706	30 305	35 011	0,27	0,79	5,06	7 567	37 065	51 483	14 975
Paris à Orléans	7 443	1 526	4 083	34 594	38 677	0,21	0,54	4,65	6 855	43 197	53 085	17 325
Paris-Lyon-Méditerranée	9 286	3 074	6 797	91 643	98 440	0,33	0,73	9,87	13 560	33 499	52 674	13 229
Midi	3 802	919	2 365	27 147	29 512	0,24	0,62	7,14	4 141	31 765	42 670	14 682
Réseau de l'État	2 932	618	1 786	14 732	16 518	0,21	0,61	5,02	3 249	39 561	39 678	11 831
Totaux et moyennes (y compris les chemins de ceinture et plusieurs compagnies non indiquées ci-dessus)	39 395	11 302	28 567	306 793	335 360	0,29	0,73	7,78	52 357	38 729	50 392	14 027

D'après les renseignements publiés par le *Board of Trade*, voici quel était l'effectif du matériel roulant des chemins de fer du Royaume Uni (Angleterre, Écosse, Irlande) au 31 décembre 1905, pour une longueur exploitée de 36 761 kilomètres :

Locomotives (à vapeur ou électriques)	22 346
Voitures à voyageurs	51 182
Autres véhicules entrant dans la composition des trains de voyageurs	19 727
Wagons à marchandises et à bestiaux	725 518
Véhicules divers	20 426
Nombre total de voitures et wagons	816 853

§ 2. — RÉSUMÉ DES DÉPENSES D'ÉTABLISSEMENT D'UN CHEMIN DE FER

Nous résumons ci-dessous les dépenses totales d'établissement d'un chemin de fer, en y comprenant l'acquisition du matériel roulant nécessaire pour l'exploiter.

En évaluant (II[e] partie, chapitre x) les dépenses de construction de la plate-forme, nous avons divisé les lignes en deux catégories, savoir : les chemins de difficulté ordinaire et les chemins faciles, et, dans chaque catégorie, nous avons considéré deux cas : celui où la plate-forme est établie immédiatement pour deux voies, et celui où elle est construite pour une seule voie. Nous avons ainsi obtenu les résultats suivants, qui ne sont d'ailleurs que des moyennes susceptibles d'écarts assez considérables.

	CHEMINS DE DIFFICULTÉ ORDINAIRE		CHEMINS FACILES	
	PLATE-FORME		PLATE-FORME	
	Pour deux voies.	Pour une voie.	Pour deux voies.	Pour une voie.
Infrastructure. . .	130 000 fr.	105 000 fr.	95 000 fr.	75 000 fr.

Pour la superstructure, qui comprend la voie, les stations et les dépenses accessoires, nous n'avons eu à considérer que le cas de la voie unique, puisque c'est le seul qui puisse se présenter aujourd'hui, sauf des exceptions fort rares ; que la plate-forme soit établie pour une ou pour deux voies, on n'en pose jamais qu'une seule et l'on ajourne la pose de la seconde jusqu'au jour où l'activité du trafic le rendra nécessaire.

Dans ces conditions, nous avons estimé à 65 000 francs la dépense kilométrique de la superstructure (Livre III, chapitre IV).

Nous venons de voir que la dépense du matériel roulant peut être évaluée à 20 000 francs par kilomètre.

Nous aurons donc, pour les dépenses d'établissement, les chiffres suivants :

	CHEMINS DE DIFFICULTÉ ORDINAIRE		CHEMINS FACILES	
	PLATE-FORME		PLATE-FORME	
	Pour deux voies.	Pour une voie.	Pour deux voies.	Pour une voie.
Infrastructure. . .	130 000 fr.	105 000 fr.	95 000 fr.	75 000 fr.
Superstructure . .	65 000 —	65 000 —	65 000 —	65 000 —
Matériel roulant. .	20 000 —	20 000 —	20 000 —	20 000 —
Totaux. . . .	215 000 fr.	190 000 fr.	180 000 fr.	160 000 fr.

Dans ces totaux, la première partie est indépendante du trafic ; elle ne dépend que de la topographie du pays traversé.

La seconde subit l'influence de l'activité du trafic, à cause des dépenses de stations qu'elle contient; le résumé qui précède suppose que cette activité ne soit pas considérable.

Enfin, la troisième partie varie d'une manière plus directe avec l'importance du trafic; nous avons supposé celui-ci compris entre 8 000 et 15 000 francs par kilomètre. Dans ces limites, la dépense du matériel roulant varie peu, parce que le nombre des trains est, comme nous l'avons vu, commandé par la commodité des voyageurs et la régularité de l'expédition des marchandises. L'évaluation qui précède se rapporte à un mouvement journalier de cinq trains dans chaque sens.

Pour une ligne dont le trafic serait plus faible, le nombre des trains pourrait être encore diminué ; le minimum admis est de trois dans chaque sens. La dépense du matériel roulant pourrait, dans ce cas, être réduite à 12 000 ou 15 000 francs.

Les dépenses de construction et d'achat de matériel indiquées ci-dessus ne représentent pas la dépense totale d'établissement du chemin de fer. Il y a un élément qu'il faut nécessairement y joindre, c'est l'intérêt des capitaux engagés pendant la période de la construction. Ces capitaux, en effet, ne sont pas productifs d'intérêt pendant cette période ; il en résulte donc une perte qui s'ajoute à la dépense et doit, par conséquent figurer avec elle.

Une ligne de la catégorie de celles que nous considérons peut généralement être construite en trois années et le centre de gravité des dépenses peut être placé à peu près au milieu de cette période. C'est donc une perte de dix-huit à vingt mois d'intérêts environ, à compter sur la totalité de la dépense, soit 10 p. 100.

La dépense totale du chemin de fer pourra donc s'établir de la manière suivante :

DÉPENSE TOTALE KILOMÉTRIQUE. — RÉSULTATS MOYENS

	CHEMINS DE DIFFICULTÉ ORDINAIRE		CHEMINS FACILES	
	PLATE-FORME		PLATE-FORME	
	Pour deux voies.	Pour une voie.	Pour deux voies.	Pour une voie.
Dépenses d'établissement . . .	215 000 fr.	190 000 fr.	180 000 fr.	160 000 fr.
Intérêts pendant la construction 10 p. 100.	21 500 —	19 000 —	18 000 —	16 000 —
Totaux	236 500 fr.	209 000 fr.	198 000 fr.	176 000 fr.
Soit en nombres ronds .	240 000 —	210 000 —	200 000 —	175 000 —

Il est essentiel de ne pas perdre de vue que les évaluations qui précèdent se rapportent uniquement aux conditions de difficulté et de trafic indiquées plus haut. Si l'on se plaçait dans des conditions différentes de difficultés pour la construction de la plate-forme et s'il s'agissait de desservir un trafic plus élevé, les dépenses augmenteraient dans des proportions considérables.

C'est ainsi que le prix moyen des chemins d'intérêt général exploités en France au 31 décembre 1903 s'élevait à 443 307 francs par kilomètre, prix bien supérieur, par conséquent, au plus élevé de ceux que nous avons indiqués ci-dessus.

Cela tient simplement à ce que, parmi ces lignes, il y en a un certain nombre qui contiennent des sections d'une difficulté exceptionnelle et que les grandes artères de la circulation y figurent, avec leurs doubles voies et leurs gares principales.

Même en se réduisant au programme modeste que nous nous sommes tracé, on doit compter que les chiffres donnés plus haut ne représentent que la dépense première du chemin de fer. Au bout d'un certain nombre d'années d'exploitation, on reconnaît généralement la nécessité, soit par suite d'un certain développement du trafic, soit pour toute autre cause, d'exécuter certains travaux complémentaires, dont le prix doit venir s'ajouter à la dépense première d'établissement.

Il nous reste, pour terminer l'étude du matériel de transport, à parler des freins. Mais comme les moyens les plus efficaces qu'on emploie aujourd'hui pour détruire et modérer la vitesse des trains sont empruntés à la locomotive (contre-vapeur et freins continus), nous préférons réserver cette question pour la traiter à propos des machines. Il est, d'ailleurs, assez naturel de ne s'occuper des moyens de détruire la vitesse qu'après avoir étudié ceux qui servent à la produire.

LIVRE SECOND

PRODUCTION DU MOUVEMENT DES TRAINS

L'étude de la traction, ou de la production du mouvement des trains, comporte deux questions distinctes, savoir :

1° Quelles sont les résistances à vaincre pour qu'un train soit mis et maintenu en mouvement sur les rails ?

2° Comment peut-on surmonter ces résistances au moyen du moteur dont on se sert, c'est-à-dire de la locomotive ?

Ce sont ces deux questions qui feront l'objet du livre second ; nous donnerons ensuite la description des organes essentiels de la locomotive, et nous terminerons par l'étude des freins.

CHAPITRE PREMIER

RÉSISTANCE DES TRAINS

§ 1er. — Étude théorique de la résistance des trains. — Frottement des fusées. — Frottement des roues sur les rails. — Résistance de l'air. — Résistance due aux déclivités. — Résistance due aux courbes. — Résistance due aux obstacles accidentels. — Formule générale.

§ 2. — Formules pratiques. — Résistance propre du train. — Formule de Harding. — Formule des ingénieurs de l'Est. — Expériences de la compagnie d'Orléans. — Formules de M. Fink. — Expériences et formules de M. Desdouits. — Formules de M. Barbier. — Résistance due aux déclivités. — Résistance due aux courbes. — Résumé. — Résistance de la machine et du tender. — Exemples numériques. — Démarrage.

§ 1er. — ÉTUDE THÉORIQUE DE LA RÉSISTANCE DES TRAINS

L'un des deux facteurs caractéristiques de cette merveilleuse invention des chemins de fer consiste, on le sait, dans la diminution de la résistance au roulement, obtenue au moyen de l'interposition de bandes de fer entre les roues des véhicules et le sol ; le second est la substitution de la locomotive aux moteurs animés. L'importance de l'emploi des rails au point de vue de la résistance est mise en évidence par les chiffres suivants.

Lorsqu'un véhicule suspendu sur des ressorts circule par un temps calme et avec une vitesse variant de 1 à 3 mètres par seconde, la résistance au roulement, par tonne de chargement, est :

1° Sur une bonne route empierrée.	de 30 à 45	kilogrammes.
2° Sur une bonne route pavée	de 15 à 30	—
3° Sur des rails de tramways (c'est-à-dire noyés dans une chaussée)	de 7 à 10	—
4° Sur une voie de chemin de fer.	de 3 à 4	—

La diminution, on le voit, est énorme. Voyons de quels éléments se compose cette résistance et pour cela, considérons un wagon sur une voie de fer, que nous supposerons d'abord en palier et en alignement droit.

Pour produire le mouvement de ce wagon, il faudra vaincre, en premier

lieu, le frottement des fusées sur les coussinets et celui des roues sur les rails ; puis, quand le mouvement aura pris naissance, il donnera lieu à une troisième résistance, qu'il faudra vaincre également, celle de l'air déplacé. Évaluons successivement le travail de ces trois résistances, en supposant le parcours du wagon ramené à l'unité de longueur.

Frottement des fusées. — Le frottement des fusées sur les coussinets des boîtes à graissage est un frottement de glissement, qui dépend de la nature et de l'état des deux corps en contact, ainsi que du mode de graissage. Il est, d'après une loi connue en Mécanique sous le nom de *loi de Coulomb*, proportionnel à la pression qui le produit.

Si nous appelons P le poids total du wagon, p celui de ses essieux montés, la pression qui produit le frottement est $P - p$. Donc, en désignant par f le coefficient de frottement, c'est-à-dire le rapport, constant d'après la loi de Coulomb, entre le frottement et la pression, la valeur de ce frottement sera

$$f(P - p),$$

et cette force sera tangente à la fusée.

Pour évaluer son travail pendant que le wagon parcourt l'unité de longueur, appelons r le rayon de la fusée et R celui de la roue au roulement. Pendant un tour de roue, le chemin parcouru par le point d'application de cette force est égal à $2\pi r$ et par suite son travail est

$$2\pi r f (P - p) ;$$

le wagon ayant, pendant ce temps, parcouru une distance égale à $2\pi R$, il en résulte que le travail du frottement, rapporté à l'unité de parcours du wagon, sera

$$\frac{2\pi\, rf\,(P - p)}{2\pi R},$$

ou simplement

$$f(P - p)\frac{r}{R}.$$

Frottement des roues sur les rails. — La résistance que les rails opposent au mouvement des roues n'est pas de la même nature que la précédente ; c'est un frottement de roulement, qui est proportionnel à la pression, inversement proportionnel au rayon de la roue et qui agit tangentiellement à cette dernière.

Appelons f' le coefficient de ce nouveau frottement, c'est-à-dire le frottement d'une roue d'un mètre de rayon sous une pression égale à l'unité. La pression qui produit le frottement est égale à P ; le parcours du point d'appli-

cation de cette force étant le même que celui du wagon, son travail, rapporté à l'unité de parcours du wagon, sera

$$f\,\frac{P}{R}.$$

Résistance de l'air. — On admet que la résistance opposée par l'air au mouvement d'un corps est proportionnelle au carré de la vitesse et à la projection de la surface de ce corps sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement.

En appelant K un coefficient constant, S la surface de résistance du wagon et V la vitesse, le travail de cette résistance sera égal à

$$KSV^2.$$

Ainsi, dans le cas où un wagon parcourrait une ligne constamment droite et sans déclivités, le travail total à produire pour remorquer ce wagon à la vitesse V aurait pour expression

$$f\,(P-p)\,\frac{r}{R}+f\,\frac{P}{R}+KSV^2.$$

Mais toutes les lignes présentent des déclivités et des courbes, dont nous devons tenir compte.

Résistance due aux déclivités. — Supposons que le wagon se meuve sur une ligne faisant avec l'horizontale un angle α (fig. 553).

Le poids P du wagon se décompose en deux forces, dont l'une, P sin α est parallèle à la direction du mouvement et dont l'autre P cos α, est perpendiculaire à cette direction. Si on observe que, sur les chemins de fer, l'angle α est toujours assez petit pour que son cosinus puisse être sans erreur sensible considéré comme égal à l'unité, on voit que la seconde force se confondra avec P, de sorte que le surcroît de résistance dû à l'inclinaison sera simplement égal à P sin α. Cette expression peut elle-même être remplacée par Ptg α, à cause de la petitesse de l'angle α, ce qui revient à confondre la longueur réelle du tracé avec celle de sa protection horizontale, approximation parfaitement permise, dans les limites de pentes usitées sur les chemins de fer. Or, tg α n'est autre chose que la pente par mètre, que nous appellerons i; la résistance due à la déclivité sera donc égale à

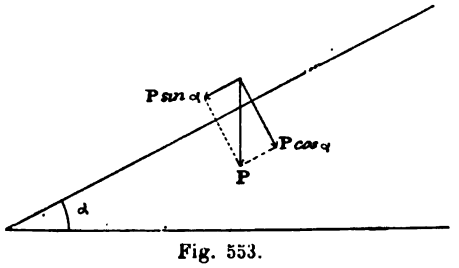


Fig. 553.

$$Pi,$$

et cette expression représentera également la valeur du travail de cette résistance pendant l'unité de parcours du wagon.

Ce travail est d'ailleurs positif ou négatif, suivant qu'il s'agit d'une rampe ou d'une pente.

Résistance due aux courbes. — La présence des courbes dans un tracé donne lieu à deux sortes de résistance, celle qui est produite par la solidarité des roues et celle qui résulte du parallélisme des essieux. Il y en a même une troisième, qui est due à la force centrifuge ; mais on la considère habituellement comme détruite par le surhaussement du rail extérieur, bien que ce ne soit exact qu'à la vitesse en vue de laquelle ce surhaussement est établi. Nous nous bornerons donc à évaluer les deux premières.

La solidarité des roues produit un frottement que nous avons déjà eu occasion de signaler ; en effet, dans les courbes, les deux roues d'un même essieu doivent parcourir des chemins d'inégale longueur, la file extérieure des rails ayant un développement plus grand que la file intérieure. Comme les roues tournent ensemble et qu'elles ont le même diamètre, il faut nécessairement, pour qu'elles avancent de quantités inégales, que la différence des parcours soit rachetée par un glissement de l'une ou l'autre roue sur le rail ; il peut même se faire que les deux roues conjuguées glissent à la fois. Nous supposerons, pour plus de simplicité, le glissement reporté d'un seul côté du wagon. Soit ρ le rayon de la courbe, mesuré sur l'axe de la voie, et e l'écartement de celle-ci. Pendant que le wagon s'avance de 1, la roue du grand rayon parcourt un chemin égal à $1 + \frac{e}{2\rho}$ et celle du petit rayon $1 - \frac{e}{2\rho}$. La différence entre ces deux parcours, ou $\frac{e}{\rho}$, représente le chemin parcouru par le frottement de glissement. Appelons f'' le coefficient de ce frottement, qui est autre chose que l'*adhérence* ; puisque nous avons supposé que le glissement est reporté sur l'une des deux roues, la pression qui produit le frottement sera $\frac{P}{2}$ et son travail

$$f'' \frac{P}{2} \frac{e}{\rho}.$$

Le calcul qui précède n'est pas complètement exact. Il suppose en effet que les rayons du roulement des deux roues conjuguées sont égaux ; or, c'est ce qui n'a pas lieu en courbe, à cause de la conicité des bandages. La force centrifuge, même en la supposant à peu près compensée par le surhaussement, rejette le wagon du côté du rail extérieur ; la roue, surélevée de ce côté, prend un plus grand rayon de roulement, ce qui permet jusqu'à un certain point aux deux roues conjuguées de parcourir des chemins inégaux sans glissement. Le frottement évalué ci-dessus se trouve donc un peu trop fort. On pourrait sans difficulté tenir compte de la conicité dans le calcul ; mais cela compliquerait la formule sans utilité réelle, attendu qu'en pratique

on se sert, comme nous le verrons plus loin, de formules empiriques, dont les coefficients sont établis de manière à tenir compte des divers éléments de résistance.

Le parallélisme des essieux produit, dans les courbes, un glissement transversal des bandages sur les rails ; il en résulte un frottement dont le coefficient est encore f'. Voici comment on peut calculer son travail.

Si le wagon parcourait la circonférence entière de rayon ρ, il aurait accompli, en revenant à son point de départ, une révolution entière autour de son centre de figure et le point d'application du frottement aurait décrit une circonférence du rayon égal à $\sqrt{\frac{e^2+L^2}{4}}$, en appelant L la distance entre les essieux. Il suffit, pour s'en rendre compte, de considérer (fig. 554) le

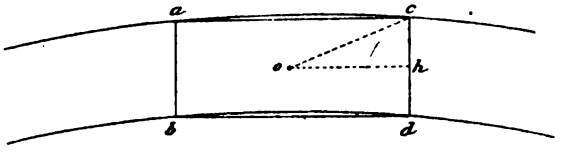


Fig. 554.

rectangle *abcd* formé par les points d'appui des roues sur les rails : *o* étant le centre de figure de ce rectangle, on a

$$oc = \sqrt{\overline{oh}^2 + \overline{ch}^2} = \sqrt{\frac{e^2+L^2}{4}}.$$

Donc, pendant que le wagon parcourt l'unité de distance, le chemin parcouru par le point d'application du frottement est égal au rapport

$$\frac{\sqrt{\frac{e^2+L^2}{4}}}{\rho} = \frac{\sqrt{e^2+L^2}}{2\rho},$$

et le travail correspondant est

$$f' P \frac{\sqrt{e^2+L^2}}{2\rho},$$

puisque la pression qui produit ce frottement est P.

En résumé, la résistance due aux courbes se compose de deux termes et s'exprime par

$$f' \frac{P}{2} \frac{e}{\rho} + f' P \frac{\sqrt{e^2+L^2}}{2\rho}.$$

Résistance due aux obstacles accidentels. — On a l'habitude d'ajouter aux différents éléments que nous venons de calculer un terme destiné à tenir compte des résistances qui peuvent provenir d'obstacles accidentels, comme

des défauts dans la surface des rails, la présence de petits corps étrangers, les frottements dus au mouvement de lacet, etc.

Ces résistances, qu'il n'est pas possible de calculer, sont évidemment proportionnelles au poids du wagon ; on admet qu'elles sont également proportionnelles à la vitesse et on représente leur travail par le terme

$$K'PV$$

K′ étant un coefficient constant.

Dès lors, le travail total des résistances du wagon se trouve représenté par la formule :

$$f(P-p)\frac{r}{R}+f'\frac{P}{R}+KSV^2\pm Pi+f'\frac{Pe}{2\rho}+f''\frac{P\sqrt{e^2+L^2}}{2\rho}+K'PV.$$

Cette formule représente également l'effort de traction nécessaire pour vaincre ces résistances, puisque le travail a été évalué dans l'hypothèse d'un parcours égal à l'unité de distance.

On peut d'ailleurs la simplifier en remarquant que, pour un train entier le poids p des roues est une fraction à peu près constante du poids total des véhicules.

En effet, le poids d'un essieu monté est à peu près de 1500 kilogrammes; si l'on admet que le poids d'un wagon vide (à marchandises) soit de 4500 kilogrammes, et que ce soit également le poids de son chargement moyen, P serait égal à 9000 kilogrammes. On aurait donc, dans ce cas :

$$P-p=7500\text{ kg.}=\frac{5}{6}P.$$

Si on admet cette approximation, si l'on remplace dans la formule ci-dessus $P-p$ par cette valeur et qu'on divise ensuite tous les termes par P, on aura finalement pour l'expression de la résistance ou de l'effort de traction par tonne de train remorqué la formule suivante :

$$\frac{5}{6}f\frac{r}{R}+\frac{f'}{R}+K'V+\frac{KSV^2}{P}\pm i+\frac{f'e}{2\rho}+\frac{f''\sqrt{e^2+L^2}}{2\rho}.$$

Les quatre premiers termes de cette formule représentent la partie de la résistance qui est indépendante du tracé, celle qu'il faut vaincre d'un bout à l'autre du parcours ; c'est la résistance propre du train ; le cinquième terme introduit l'influence des pentes ; les deux derniers, celle des courbes.

§ II. — FORMULES PRATIQUES

L'analyse précédente, empruntée tout entière au *Cours de Chemins de fer* de M. Sévène, conduit à une expression théorique de la résistance. Il s'agit maintenant de connaître la valeur des coefficients à adopter dans la pratique, pour pouvoir appliquer la formule à la détermination de la résistance des trains. Nous examinerons successivement les trois parties de la formule, celle qui représente la résistance propre du train, celle qui est due aux pentes et enfin celle qui provient des courbes.

Résistance propre du train. — La formule qui représente cette résistance peut être mise sous la forme

$$A + BV + \frac{CSV^2}{P},$$

A, B, C étant des coefficients constants qu'il faut déterminer par l'expérience.

Un grand nombre d'essais ont été faits dans ce but, en Angleterre, en France et aussi en Allemagne.

Formule de Harding. — En Angleterre, les expériences les plus nombreuses et les plus importantes sont celles qui ont été faites vers 1846 par M. *William Harding*, à la suite desquelles M. *Scott Russell* a proposé l'adoption de la formule suivante, connue sous le nom de formule de Harding :

$$R = 2{,}72 + 0{,}094\ V + 0{,}00484\ \frac{SV^2}{P}.$$

Elle donne, en kilogrammes par tonne, la résistance d'un train brut de poids P ; V représente la vitesse en kilomètres à l'heure, S la section transversale maxima du train en mètres carrés.

Cette formule, dont les coefficients ont été déduits d'un vaste ensemble d'expériences, est d'un emploi commode ; elle a seulement l'inconvénient d'être fort ancienne ; or, depuis l'époque où elle a été établie, il a été apporté au matériel roulant des chemins de fer des modifications qui ont changé les résistances. Aussi la formule de Harding, qui est encore assez exacte pour les trains rapides, donne généralement des chiffres trop élevés pour les trains de faible vitesse.

Formules de l'Est. — Des formules plus récentes ont été établies en France, en 1867, à la suite d'expériences nombreuses et portant sur des

vitesses très variées qui ont été faites par MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, ingénieurs de la compagnie de l'Est. Elles ont conduit à diviser les résultats obtenus en plusieurs groupes, dans lesquels la vitesse varie peu et à établir pour chacun de ces groupes une formule particulière.

Les ingénieurs de l'Est ont considéré séparément les trains de marchandises et les trains de voyageurs et divisé ces derniers en trois séries, suivant les vitesses avec lesquelles ils marchent.

Voici les formules auxquelles ils sont arrivés :

TRAINS DE MARCHANDISES

Vitesse variant de 12 à 32 kilomètres; la résistance de l'air est sans importance, on peut négliger le terme en V^2.

(1) $\begin{cases} R = 1{,}65 + 0{,}05V \text{ (graissage à l'huile)} \\ R = 2{,}30 + 0{,}05V \text{ (graissage à la graisse).} \end{cases}$

TRAINS MIXTES ET DE VOYAGEURS

(2) Vitesse variant de 32 à 50 kg. $R = 1{,}80 + 0{,}08V + \frac{0{,}000\,SV^2}{P}$

(3) — — 50 à 65 kg. $R = 1{,}80 + 0{,}08V + \frac{0{,}006\,SV^2}{P}$

(4) — — 65 kg. et au-dessus $R = 1{,}80 + 0{,}14V + \frac{0{,}004\,SV^2}{P}$

Les expériences qui ont servi à établir ces formules ont été faites d'après les deux méthodes suivantes [1] :

1° Un véhicule était lancé à une vitesse déterminée, puis abandonné à lui-même jusqu'à l'arrêt complet. Dans ces conditions la force vive du véhicule était détruite par le travail des résistances sur une longueur égale au chemin parcouru et on avait la relation

$$\frac{mV_0^2}{2} = Rs,$$

dans laquelle m est la masse du véhicule, V_0 sa vitesse initiale en mètres par seconde, s l'espace parcouru en mètres et R la résistance moyenne en kilogrammes;

2° Les véhicules à essayer étaient attelés à un dynamomètre, monté sur un wagon spécial, qui faisait connaître directement l'effort de traction.

[1] Le mémoire des ingénieurs de l'Est a été inséré dans le *Compte rendu des Travaux de la Société des Ingénieurs civils*, en 1867.

Les expériences des ingénieurs de l'Est ont été très nombreuses et faites dans des conditions variées. Les formules qui ont été déduites représentent bien, dans chacun des groupes considérés, les résultats de ces expériences et les quatre formules proposées correspondent bien aux quatre espèces de trains généralement employés dans la pratique des chemins de fer, savoir : trains de marchandises, trains mixtes, trains de voyageurs ordinaires, trains de grande vitesse. Pourtant on peut reprocher à ces formules de ne pas se raccorder l'une à l'autre, en sorte que les résultats qu'elles donnent aux différentes vitesses, depuis 32 kilomètres jusqu'à 70 kilomètres et au delà, ne forment pas une série continue. Ainsi la résistance d'un train de voyageurs marchant à 50 kilomètres n'est pas la même, suivant qu'on la calcule par la formule (2) ou par la formule (3). Ce défaut de continuité existe également, et d'une manière encore plus marquée, entre la formule (3) et la formule (4). C'est évidemment un inconvénient. Aussi ces différentes formules doivent-elles être appliquées exclusivement pour déterminer la résistance des trains, en vue desquels elles ont été établies, savoir :

Les formules 1, pour les trains de marchandises ;
La formule 2, — trains mixtes ;
— 3, — trains de voyageurs ordinaires ;
— 4, — trains de grande vitesse.

Mais leur défaut de continuité rend l'emploi de ces formules impossible dans tout problème de traction qui comporte des variations de vitesse, à moins que celles-ci se maintiennent dans les limites d'un même groupe.

Dans les formules qui précèdent, S représente la surface de front du train qui varie de 5 à 7 mètres carrés pour le matériel ordinaire des lignes à voie large. On prend généralement S = 6 mètres carrés.

Expériences de la compagnie d'Orléans. — Les expériences de la compagnie d'Orléans ont été commencées par M. Polonceau en 1857 et continuées par M. Forquenot[1] ; elles ont été faites à l'aide du dynamomètre et on s'est attaché à déterminer le plus exactement possible l'influence de chacune des conditions des essais sur la résistance totale observée.

Voici les principaux résultats obtenus.

La résistance augmente avec le diamètre des fusées ; elle diminue quand on fait croître le diamètre des roues. Elle est plus grande, en général, avec le graissage à la graisse qu'avec le graissage à l'huile ; la différence serait de 1,20 kg. par tonne en temps ordinaire, de 1,80 kg par le temps froid, et elle diminuerait par le temps chaud.

[1] Une note a été publiée à ce sujet par M. Forquenot dans le *Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, en 1868.

L'intensité et la direction du vent ont une grande influence sur l'effort de traction, comme le montrent les résultats suivants, obtenus avec deux trains marchant l'un par un temps calme, l'autre avec un grand vent de travers :

Temps calme. — Train de 35 wagons, poids 317 tonnes, vitesse 23 kilomètres à l'heure; résistance par tonne 3,67 kg.

Vent violent de travers. — Train de 35 wagons, poids 363 tonnes vitesse 23 kilomètres à l'heure; résistance par tonne 4,95 kg.

Enfin la résistance augmente avec la vitesse : les expériences faites sur des trains composés de 8 à 15 wagons et dont le poids total variait de 76 à 170 tonnes, ont donné les résultats suivants :

Pour une vitesse de	15	km. à l'heure.	— Résistance par tonne	1,435 kg.
—	29	—	—	2,264 —
—	43	—	—	3,088 —
—	55	—	—	4,653 —
—	57	—	—	5,010 —
—	60	—	—	5,250 —

Formules de M. Fintz. — Les formules suivantes ont été proposées par un ingénieur autrichien, M. *Fintz*; elles sont commodes pour les calculs approximatifs. Elles se rapportent à deux situations distinctes, l'une comprenant les circonstances favorables, l'autre les circonstances défavorables.

1° *Conditions favorables.* — Voie et matériel en bon état; pas ou peu de courbes de moins de 500 mètres de rayon; vent faible; matériel graissé à l'huile; charge supérieure à 100 tonnes brutes :

$$R = 2{,}5 + 0{,}001\ V^2.$$

2° *Conditions moins favorables.* — Nombreuses courbes de moins de 500 mètres; vent fort; graissage à la graisse ; charge inférieure à 100 tonnes;

$$R = 3{,}75 + 0{,}0012\ V^2.$$

Ces deux formules, qui s'appliquent à un matériel de construction ordinaire, donnent pour R les valeurs suivantes pour différentes valeurs de la vitesse :

	VITESSE EN KILOMÈTRES A L'HEURE									
	12	15	20	25	30	35	40	50	60	70
	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
R (1re formule.	2,65	2,73	2,90	3,13	3,40	3,72	4,10	5,00	6,10	7,40
R (2e formule.	4,00	4,09	4,35	4,70	5,10	5,58	6,15	7,50	9,15	11,10

Expériences et Formules de M. Desdouits. — Il a été fait, au réseau de l'État, sous la direction de M. Desdouits, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction, un grand nombre d'expériences ayant pour but d'évaluer les efforts moteurs et résistants développés dans la marche des trains. Ces expériences, poursuivies au moyen du *pendule dynamométrique*[1], ont été résumées dans une note parue dans la *Revue générale des Chemins de fer* (mai et juin 1890), qu'on pourra consulter avec fruit. Il ressort notamment de cette note que les résultats obtenus pour la valeur de la résistance des machines et des voitures sont notablement inférieurs à ceux qu'on avait déduits des expériences anciennes; cela tient d'une part à l'amélioration des conditions du roulement, par suite de l'emploi de meilleurs procédés de graissage et, d'autre part, à l'augmentation du poids du matériel, qui réduit la résistance par tonne.

Les expériences de M. Desdouits se résument pratiquement dans les deux formules suivantes, qui s'appliquent à un train formé d'un nombre quelconque de voitures ou wagons couverts d'un poids moyen de 10 tonnes et d'une section de 6 mètres carrés environ, le premier véhicule étant supposé masqué par la machine qui supporte la résistance directe de l'air[2] :

Jusqu'à 60 kilomètres de vitesse	$R = 1{,}50 + 0{,}0007\ V^2$.
Au delà de 60 kilomètres —	$R = 1{,}50 + 0{,}04\ V$.

Nota. — Le point de passage exact d'une formule à l'autre correspond à la vitesse de 57 kilomètres.

Ainsi que l'a fait remarquer M. Bricka, ces formules peuvent s'appliquer à un train quelconque de matériel ordinaire, bien que la section transversale n'y figure pas : en effet le gabarit des voitures à voyageurs varie peu, surtout pour celles qui entrent dans la composition des trains de vitesse, et, quant aux trains de marchandises, les variations de la section transversale n'ont qu'une influence négligeable.

Les expériences de M. Desdouits ont d'ailleurs établi que la résistance par tonne diminue avec les grandes voitures à bogies et que la différence augmente avec la vitesse. Ainsi à la vitesse de 80 kilomètres la résistance d'un train formé de voitures à bogies n'est, à poids égal, que les 70 centièmes de celle d'un train formé de voitures ordinaires.

Formules de M. Barbier. — De nouvelles expériences sur la résistance des trains ont été faites sur le réseau du Nord par M. Barbier, directeur des ateliers de machines de ce réseau[3]. Elles ont porté sur une période de plus

[1] Voir l'exposé de cette méthode dans un article de M. Desdouits (*Revue générale des Chemins de fer*, octobre 1883).

[2] Bricka, *Cours de Chemins de fer.*

[3] *Revue générale des Chemins de fer*, avril 1897.

de quatre ans, de 1891 à 1895, et se sont appliquées à un grand nombre de trains réguliers ou spéciaux.

Ces expériences, dont les résultats ont d'ailleurs été confirmés par celles de M. Nadal, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction du réseau de l'État[1], ont établi que la résistance propre des véhicules par tonne, de même que celles des locomotives et tenders, varie en fonctions de la vitesse suivant la formule

$$R = a + b\,V\,\frac{V+c}{1000},$$

dans laquelle a, b et c sont des coefficients qui diffèrent suivant le type de matériel envisagé,

Au réseau de l'État les observations faites ont conduit à donner à ces coefficients des valeurs indiquées dans les formules suivantes.

Pour des locomotives compound à 4 cylindres et à deux essieux accouplés on a (pour l'ensemble de la machine et du tender) :

$$R = 4 + 0{,}9\,V\,\frac{V+30}{1000}$$

Pour des locomotives compound à 4 cylindres et à trois essieux accouplés :

$$R = 4 + V\,\frac{V+30}{1000}.$$

Pour des véhicules ordinaires à 2 essieux :

$$R = 1{,}6 + 0{,}30\,V\,\frac{V+90}{1000}.$$

Pour des voitures à 2 essieux à grand empattement :

$$R = 1{,}5 + 0{,}25\,V\,\frac{V+85}{1000}.$$

Enfin pour des voitures à bogies :

$$R = 1{,}4 + 0{,}20\,V\,\frac{V+80}{1000}.$$

Ce sont les formules précédentes qui sont employées au réseau de l'État pour l'évaluation des résistances, nécessaire au calcul des charges que peuvent remorquer les machines [2].

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, mai 1903, mars et septembre 1904. Expériences sur le rendement des locomotives, par M. J. Nadal.

[2] Renseignements fournis par M. Boell, ingénieur en chef du matériel et de la traction de ce réseau. Les coefficients donnés par M. Barbier sont un peu différents : ils ont été établis spécialement pour le matériel du Nord.

Résistance due aux déclivités. — L'influence des pentes du tracé est représentée dans la formule générale de la résistance par le terme i, qui mesure l'inclinaison de la ligne ; c'est-à-dire que chaque millimètre de rampe augmente la résistance de 1 kilogramme par tonne et que chaque millimètre de pente la diminue de la même quantité.

Cette conclusion, qui résulte du calcul que nous avons présenté, est entièrement confirmée par l'expérience et il n'y a aucune correction à apporter à la formule sur ce point.

Résistance due aux courbes. — Si on prend pour f', e et L leurs valeurs courantes, savoir :

$$f' = 0{,}20 \text{ m.}$$
$$e = 1{,}50 \text{ —}$$
$$\text{L} = 3{,}60 \text{ —}$$

et qu'on porte ces valeurs dans la partie de la formule générale qui correspond aux courbes, soit :

$$\frac{f'e}{2\rho} + \frac{\sqrt{e^2 + \text{L}^2}}{2\rho}.$$

elle devient :

$$\frac{550}{\rho},$$

et on tire les résultats suivant :

Pour $\rho = 1\,000$ m.	Résistance par tonne 0,55 kg.
— 500 —	— 1,10 —
— 300 —	— 1,80 —

Les chiffres qu'on emploie dans la pratique diffèrent assez notablement de ceux-là.

D'après les expériences des ingénieurs de l'Est, la résistance due aux courbes serait de 1 kilogramme par tonne pour des rayons de 1 000 mètres et de 1,50 kg. pour des rayons de 800 mètres, pour un train de marchandises de 26 à 56 wagons marchant à une vitesse de 20 à 30 kilomètres.

Pour un train de voyageurs de 10 à 20 voitures, l'influence des courbes serait insensible jusqu'à une vitesse de 50 kilomètres tant que le rayon ne descend pas au-dessous de 800 mètres.

D'après M. Polonceau, le supplément d'effort imputable aux courbes aurait les valeurs suivantes pour un train composé de 35 wagons à marchandises, marchant à 25 kilomètres à l'heure :

Rayons des courbes (en mètres)	1 500	1 400	1 300	1 200	1 100	1 000	900	800	700	600	500	400	300
Supplément d'effort par tonne (en kilogr.)	0	0,05	0,10	0,30	0,50	0,75	1,05	1,40	1,80	2,25	2,75	3,30	3,90

Les expériences de M. Forquenot ont donné des résultats un peu moins forts pour les grands rayons; ils sont indiqués ci-dessous :

RAYONS	RÉSISTANCE DUE A LA COURBE	
	Trains de 40 wagons Vitesse : 25 kilomètres.	Trains de 12 wagons Vitesse : 50 kilomètres.
	kg.	kg.
1 000 mètres	0,35	0,40
500 —	1,40	1,50
300 —	3,90	4,10

D'après les expériences faites à la compagnie P.-L.-M., cette résistance aurait les valeurs suivantes, pour les trains express de voyageurs et de marchandises :

RAYONS DES COURBES	RÉSISTANCE PAR TONNE		
	Trains express 40 véhicules.	Trains de voyageurs 20 véhicules.	Trains de marchandises, 50 véhicules.
	kg.	kg.	kg.
1 000 mètres	0,50	0,55	0,75
800 —	0,60	0,70	0,90
500 —	1,00	1,15	1,50
400 —	1,20	1,50	1,80
300 —	1,70	2,10	2,50
250 —	2,00	2,30	3,00

Enfin, d'après les expériences faites en 1892 à Noisy-le-Sec par la *Commission des courbes de petit rayon*, ainsi que d'après d'autres expériences de M. Desdouits, la résistance en courbe pourrait être assez bien représentée par la formule $\frac{500 \times e}{r}$, dans laquelle e est la largeur de la voie et r le rayon de la courbe. Sur les lignes à voie normale, $e = 1{,}50$ m. et la formule devient $\frac{750}{r}$.

En somme, les nombreuses expériences faites sur ce sujet ont donné des résultats assez contradictoires.

C'est qu'en effet, dans la résistance en courbe, un grand nombre d'élé-

ments entrent en jeu : rayon de courbure, conicité des bandages, jeu de la voie et des boîtes à graissage, surhaussement du rail extérieur, empattement des véhicules, longueur des trains, serrage des attelages, vitesse de marche, etc. Tous ces éléments variables interviennent plus ou moins dans les divers essais et contribuent à faire varier les résultats obtenus.

En pratique, on pourrait se contenter de la règle suivante :

La résistance due aux courbes d'un rayon supérieur ou égal à 500 mètres est peu importante et peut être négligée. A partir de 400 mètres de rayon, compter :

Pour 400 mètres, 2 kilogrammes par tonne.
— 300 — 3 —

Résumé. — En résumé, la résistance d'un train, non compris sa machine et son tender, peut être évaluée pratiquement de la manière suivante, en kilogrammes par tonne remorquée.

Pour une vitesse inférieure à 32 kilomètres à l'heure, c'est-à-dire pour les trains de marchandises (Formule des ingénieurs de l'Est) :

$$1,65 + 0,05\ V \text{ (graissage à l'huile)}$$
$$2,30 + 0,05\ V \text{ (graissage à la graisse)}.$$

Pour une vitesse supérieure à 32 kilomètres, employer, soit la formule de Harding, soit celles des ingénieurs de l'Est :

Formule de Harding (applicable à toutes les vitesses)

$$2,72 + 0,094V + \frac{0,00484\ SV^2}{P}$$

Formules des ingénieurs de l'Est

Vitesses de 32 à 50 kilomètres. $1,80 + 0,08V + \frac{0,009\ SV^2}{P}$

Vitesses de 50 à 65 kilomètres. $1,80 + 0,08\ V + \frac{0,006\ SV^2}{P}$

Vitesses supérieures à 65 kilomètres. $1,80 + 0,14V + \frac{0,004\ SV^2}{P}$

Ajouter ou retrancher un kilogramme par millimètre de rampe ou de pente.

Ajouter :

2 kg. dans les courbes de 400 m. de rayon,
3 — — 300 —

Dans ces formules,

V représente la vitesse en kilomètres à l'heure.
P exprime, en tonnes, le poids remorqué, non compris la machine et le tender.
S est la surface du front du train, en mètres carrés ; on prend en général $S = 6\ m^2$ [1].

[1] Nous renvoyons les lecteurs, désireux d'avoir des détails plus complets sur cette question, au

Les formules précédentes peuvent être employées, en vue d'un calcul approximatif, quel que soit le type du matériel. Lorsqu'on voudra avoir plus de précision il sera préférable d'employer les formules de M. Barbier, avec des coefficients appropriés au matériel envisagé.

Résistance de la machine et du tender. — Dans tout ce qui précède nous avons considéré seulement le poids remorqué, c'est-à-dire celui des wagons ; mais pour avoir la résistance complète d'un train, il faut évidemment tenir compte de la machine et de son tender, considérés comme véhicules.

Le tender ne diffère pas beaucoup des wagons ordinaires, ni comme fusées, ni comme roues, ni comme surface de front ; on peut donc le traiter sans erreur sensible comme les wagons, c'est-à-dire ajouter, dans la formule précédente, son poids au poids du train.

Cette assimilation n'est pas possible en ce qui concerne la machine. Considérée comme véhicule, elle doit avoir nécessairement une résistance plus considérable qu'un train du même poids, surtout si elle est à petites roues. En effet, le rapport $\frac{r}{R}$ entre le rayon de la fusée et celui de la roue, qui pour les wagons dépasse rarement 0,10, atteint souvent 0,15 pour les machines à marchandises, ce qui doit contribuer (voy. formule générale) à augmenter la résistance au roulement. En fait cette résistance peut s'élever à 10 ou 12 kilogrammes par tonne pour les machines à marchandises, marchant à 30 kilomètres à l'heure ; pour des machines d'express à grandes roues, elle est, en moyenne, de 5 à 6 kilogrammes par tonne. C'est beaucoup plus, comme le montrent les formules indiquées précédemment, que pour des wagons de même poids.

En outre, indépendamment de la résistance au roulement, une locomotive présente une résistance qui lui est propre et qui résulte des frottements des différentes parties de son mécanisme, tiroirs, pistons, glissières, etc. Cette résistance dépend du travail de la machine ; elle augmente avec la pression de la vapeur et peut, dans certains cas, acquérir une valeur considérable : le frottement seul des tiroirs peut quelquefois absorber un travail de 30 à 35 chevaux.

Il est donc indispensable d'évaluer à part la résistance de la machine.

Un assez grand nombre d'expériences ont été faites pour arriver à ce résultat, indépendamment de celles dont nous avons déjà parlé [1].

troisième volume de l'ouvrage de M. Couche ; ils trouveront également dans le tome VII de la *Revue générale des Chemins de fer* (2e semestre 1884) des renseignements sur des formules proposées par M. Frank, professeur à l'Ecole technique supérieure de Hanovre, et par M. Von Roehl directeur des chemins de fer bavarois.

[1] On en trouvera le détail dans l'ouvrage de M. Couche, t. III.

MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné, M. Forquenot, en France, ont opéré sur les machines comme ils avaient fait sur les wagons. En Angleterre et en Allemagne, on a également procédé à différents essais sur les divers types de machines, en les faisant marcher à des vitesses successivement croissantes. Voici le résumé des résultats obtenus.

D'après les ingénieurs de l'Est, la résistance totale de la machine *seule* varie beaucoup suivant le type de la machine et son état d'entretien ; elle peut être *approximativement* évaluée comme il suit, par tonne de son poids :

Machines à roues libres	9 à 10 kg.
— 4 roues accouplées	11 à 12 —
— 6 —	15 —
— 8 —	25 —

La partie de cette résistance, spécialement due au mécanisme, peut être représentée par les chiffres suivants, par tonne du poids de la machine :

Machines à roues libres	5 kg.
— 4 roues accouplées	7 —
— 6 —	9 —
— 8 —	14 —

Si on considère maintenant la machine, non plus seule, mais associée à son tender, la résistance totale est, d'après les mêmes auteurs, par tonne du poids de ces deux véhicules réunis aux vitesses normales du service :

Machines Crampton	8 kg.
— à 4 roues accouplées	10,50 kg.
— à 6 —	12,50 —
— à 8 —	20 kg.

Quant à la résistance du tender seul, elle peut être évaluée à environ 6 kilogrammes par tonne pour les trains de marchandises et à 7 ou 8 kilogrammes pour les trains express.

D'après M. Desdouits, la résistance propre des machines et tenders pourrait être représentée assez exactement par les formules suivantes :

Pour les machines à voyageurs . .	$R = 1 \text{ kg.} + 0{,}17\ V.$
— à marchandises.	$R = 2{,}50 \text{ kg.} + 0{,}17\ V.$

Il est très naturel d'évaluer la résistance au roulement d'une locomotive en fonction de son poids ; mais il ne paraît guère logique de rapporter à ce poids les résistances spéciales dues aux frottements des tiroirs, des pistons, des glissières, etc., frottements qui n'ont aucun rapport avec le poids de la machine. Si on le fait, c'est uniquement dans le but de simplifier l'expression de la résistance totale du train et de l'exprimer en fonction du poids total.

Ce n'est cependant pas indispensable et on a cherché à évaluer la résis-

tance spéciale due aux organes de la machine en fonction de son travail, ce qui est beaucoup plus logique.

En Angleterre, M. *Daniell Gooch*, admettant une loi qui résultait d'expériences faites par un ingénieur français, M. *de Pambour*[1], a proposé de représenter cette résistance par la formule :

$$R = C + + 0{,}15\,\frac{\theta}{V},$$

dans laquelle

C est une résistance constante, indépendante du travail et de la vitesse de la machine,
θ le travail disponible sur l'essieu moteur,
V la vitesse.

$\frac{\theta}{V}$ représente donc l'effort de traction mesuré sur les roues motrices.

Malheureusement, d'après M. Couche, les expériences ne sont pas assez nombreuses et leurs éléments assez complètement connus pour qu'on puisse établir avec certitude la relation ci-dessus.

En Allemagne, M. *Welkner* a proposé de représenter par les formules suivantes la résistance totale d'une machine à six roues et de son tender :

Avec les roues libres . . $R = 6 + 0{,}0044\ V^2$.
— 4 roues accouplées. $R = 8 + 0{,}0044\ V^2$.
— 6 — . $R = 12 + 0{,}0044\ V^2$.

R étant la résistance en kilogrammes et V la vitesse en kilomètres à l'heure.

La formule n'a pas été étendue aux machines à huit roues accouplées, alors peu usitées en Allemagne.

Enfin, quand on veut exprimer approximativement la résistance totale d'un train, y compris la machine et le tender, on se contente quelquefois d'augmenter de 25 p. 100 les coefficients de la formule de Harding et d'y remplacer P par le poids total P′ en y comprenant la machine et le tender; cette formule devient alors, en prenant $S = 5^{m2}$:

$$R = 3{,}40 + 0{,}118V + 0{,}03\,\frac{V}{P'}^2.$$

Elle donne les résultats suivants pour les différentes valeurs de V et de P′ :

V	P′ = 100 tonnes	P′ = 200 tonnes	P′ = 300 tonnes
kg. à l'heure.	kg.	kg.	kg.
30	7,21	7,08	7,03
40	8,60	8,36	8,28
60	11,56	11,02	10,84
80	14,76	13,80	13,48
100	18,20	16,70	16,20

[1] *Traité des locomotives*, 2e édition, 1840.

[2] Couche, t. III, p. 708.

En pratique, on peut employer l'un des deux procédés indiqués ci-dessous :

A. Compter à part la résistance totale de la machine et du tender, en l'évaluant au moyen des chiffres donnés par les ingénieurs de l'Est, savoir :

Machines	à roues libres	8 kg.	par tonne du poids de la machine et du tender.	
—	à 4 roues accouplées	10,50 kg.	—	—
—	à 6 —	12,50 —	—	—
—	à 8 —	20 kg.	—	—

B. Ajouter, dans la formule ordinaire de la résistance des trains, le poids de la machine et du tender à celui du train ; compter en outre, pour la résistance propre de la machine et par tonne de son poids, un supplément de :

8 kg. pour les machines à voyageurs.
12 — — à marchandises.
20 — pour les grosses machines.

Quel que soit le procédé employé, il ne faut pas perdre de vue que la résistance des machines peut s'accroître beaucoup dans les circonstances suivantes :

Dans les courbes raides, si la machine n'est pas munie de dispositifs spéciaux permettant de les franchir facilement ;

Pour les machines à essieux accouplés, lorsque les bielles d'accouplement sont mal réglées ou lorsque, par suite de l'usure, les diamètres des roues accouplées sont inégaux.

Exemples numériques. — Dans le but de rendre plus claires les explications qui précèdent, nous allons appliquer les formules successivement à deux trains, un train de voyageurs et un train de marchandises.

Soit, en premier lieu, un train de voyageurs du poids de 90 tonnes, remorqué, à la vitesse de 60 kilomètres à l'heure, par une machine de 30 tonnes, suivie d'un tender de 16 tonnes.

Sa résistance, calculée par la formule de Harding,

$$R = 2{,}72 + 0{,}094V + \frac{0.0484\ SV^2}{P},$$

dans laquelle il faut prendre :

$$V = 60,\ S = 6,\ P = 90 + 30 + 16 = 136 ;$$

sera

$$R = 9{,}15 \text{ kg. par tonne,}$$

soit, pour 136 tonnes. . . . . 1 244,40 kg.
à quoi il faut ajouter pour la résistance propre de la machine,
30 × 8, soit. . . . . 240 »
Résistance totale du train en palier . . . . . 1 484,40 kg.

Si le train, au lieu de circuler en palier et en alignement droit, devait franchir une rampe de 5 millimètres par mètre, comportant des courbes de 500 mètres de rayon, sa résistance se trouverait augmentée de 5 kilogrammes par tonne sur la rampe et de 2 kilogrammes par tonne dans la courbe, soit 136 × (5 + 2) . . . . . 952 »
Elle se trouverait donc portée à . . . . . 2 436,40 kg.
en supposant qu'il conserve la vitesse de 60 kilomètres à l'heure.

Soit, en second lieu, un train de marchandises formé de 50 wagons de 10 tonnes, remorqué à la vitesse de 25 kilomètres à l'heure par une machine de 34 tonnes, suivie d'un tender de 16 tonnes.

En supposant qu'on emploie le graissage à l'huile, la formule (1) des ingénieurs de l'Est donne, pour la résistance par tonne, pour V = 25 :

$$R = 2{,}90 \text{ kg.}$$

soit, pour 550 tonnes (poids total du train, y compris machine et tender) . . . . . 1 595 kg.
Résistance propre de la machine : 34 × 12 408
Résistance totale du train en palier . . . . . 2 003 kg.

Si le train doit franchir une rampe de 5 millimètres par mètre, combinée avec des courbes de 500 mètres de rayon, sa résistance se trouvera augmentée de 550 × (5 + 2). . . . . 3 850 kg.
et elle deviendra égale à . . . . . 5 853 kg.
en supposant toujours qu'il garde la même vitesse de 25 kilomètres.

Enfin nous donnons ci-dessous, d'après les formules de l'Est, le calcul des résistances d'un train dans diverses conditions de vitesse, de charge et de rampes :

1° Trains express

Vitesse en kilomètres à l'heure.	50 km.	70 km.	90 km.
Poids du train : 9 voitures de 10 tonnes	90 t.	90 t.	90 t.
Poids de la machine (à roues libres) et du tender . . . . . (Machine : 30 tonnes / Tender : 16 —)	46	46	46
Résistance par tonne du train (formule de l'Est) en supposant S = 6 m².	6,80 kg.	12,90 kg.	16,60 kg.
Résistance totale pour un train de 90 tonnes	612 kg.	1 161 kg.	1 494 kg.
Résistance de la machine et du tender : 46 × 8 . . .	368 —	368 —	368 —
Résistance totale en palier	980 kg.	1 529 kg.	1 852 kg.

Résistance sur les rampes, à raison d'un supplément de 90 + 46 = 136 kg. par millimètre de rampe.

Rampe de 5 mm	1 660 kg.	2 209 kg.	2 542 kg.
— 10 mm	2 340 —	2 889 —	3 222 —
— 15 mm	3 020 —	3 569 —	3 902 —

2° Trains omnibus

Vitesse en kilomètres à l'heure	25 km.	40 km.	50 km.
Poids du train : 18 voitures de 10 tonnes	180 t.	180 t.	180 t.
Poids de la machine (à 2 essieux accouplés) et du tender (Machine : 33 tonnes ; Tender : 16 —)	49	49	49
Résistance par tonne du train (formule de l'Est, S = 6 m²)	2,90 kg.	5,50 kg.	6,55 kg.
Soit, pour un train de 180 tonnes	522 kg.	990 kg.	1 179 kg.
Résistance de la machine et du tender : 49 × 10,5	514 —	514 —	514 —
Résistance totale en palier	1 036 kg.	1 054 kg.	1 639 kg.

Résistance sur les rampes, à raison de 180 + 49 = 229 kg. par millimètre de rampe.

Rampes de 5 mm	2 181 kg.	2 649 kg.	2 838 kg.
— 10 —	3 326 —	3 794 —	3 983 —
— 15 —	4 471 —	4 939 —	5 128 —

3° Trains de marchandises

Vitesse en kilomètres à l'heure	20 km.	30 km.	40 km.
Poids du train : 25 wagons de 12 tonnes	300 t.	300 t.	300 t.
Poids de la machine (à 3 essieux accouplés et du tender (Machine : 34 tonnes ; Tender : 16 —)	50	50	50
Résistance par tonne du train (formule de l'Est, S = 6 m²)	2,65 kg.	3,15 kg.	5,30 kg.
Soit, pour un train de 300 tonnes	795 kg.	945 kg.	1 590 kg.
Résistance de la machine et du tender : 50 × 12,5	625 —	625 —	625 —
Résistance totale en palier	1 420 kg.	1 575 kg.	2 215 kg.

Résistance sur les rampes, à rampes, à raison de 300 + 50 = 350 kg. par millimètre de rampe.

Rampes de 5 mm	3 170 kg.	3 320 kg.	3 965 kg.
— 10 —	4 920 —	5 070 —	5 715 —
— 15 —	6 670 —	6 280 —	7 465 —

On pourrait donner des exemples analogues de calcul, en se servant des formules de M. Desdouits ou de M. Barbier.

Démarrage. — On désigne sous le nom de démarrage la mise en mouvement d'un train qui est au repos.

On a cru longtemps que le démarrage d'un train exigeait un effort de traction plus grand que celui qui est nécessaire en pleine marche, à cause d'une adhérence spéciale du fer sur le fer (le fer des roues sur le fer des rails), qui

opposerait à la mise en mouvement une résistance plus grande que le frottement ordinaire des deux corps l'un sur l'autre. On sait aujourd'hui qu'il n'en est rien; cela résulte d'un grand nombre d'observations et, en particulier, des expériences de M. Bochet sur l'adhérence, dont il sera parlé plus loin. Le frottement de roulement à la surface de la roue n'est pas plus grand au démarrage qu'en pleine marche.

Ce qui est exact, c'est qu'avec le graissage à la graisse, le frottement des fusées se trouve augmenté au départ, principalement dans les temps froids, parce que la graisse a besoin d'être échauffée pour se liquéfier et pour se répandre entre la fusée et le coussinet. Mais avec le graissage à l'huile, cet effet ne se produit pas et il est certain, au contraire, que la résistance du train est à son minimum au moment du démarrage, puisqu'elle augmente avec la vitesse.

Il n'en est pas moins vrai que l'effort de traction demandé à la locomotive au moment du démarrage est souvent plus élevé qu'en pleine marche; mais ce n'est pas pour vaincre un supplément de résistance, c'est uniquement pour produire une accélération et pour éviter que la mise en mouvement du train se fasse trop lentement. On pourrait fort bien, au moyen d'un effort de traction très modéré, pas plus grand que celui qu'on produit en pleine marche sur un palier, obtenir le démarrage du train; mais cet effet se produirait lentement et on perdrait ainsi un temps considérable. Si donc on demande à la machine au moment du démarrage un supplément d'effort, c'est uniquement pour produire *promptement* de la vitesse et non pas pour vaincre une résistance spéciale, qui n'existe pas.

Cette conclusion, qui ne peut faire de doute d'après ce qui précède, ressort également des lignes suivantes, que nous empruntons à M. Couche[1] : « D'après les expériences des ingénieurs du matériel de l'Est, la résistance d'un train au démarrage serait beaucoup plus grande que sa résistance en marche à une vitesse uniforme, même considérable; mais ce que ces ingénieurs ont mesuré, ce n'est pas la résistance au départ, c'est l'effort nécessaire pour faire démarrer le train, dans le sens purement pratique du mot, c'est-à-dire la somme de la résistance proprement dite et de la force d'inertie correspondante à l'accélération usuelle. C'est ainsi qu'ils ont trouvé, pour les trains de voyageurs, un effort par tonne deux fois plus grand que pour les trains de marchandises, ce qui tient tout simplement, comme ils le disent, à ce que, dans les premiers, les attelages sont plus serrés et à ce que la mise en vitesse doit être plus rapide. On trouverait, de même, ponr les trains de marchandises, une résistance encore plus faible que celle qui a été obtenue si l'on se contentait d'un démarrage plus lent. »

[1] Couche, t. II, p. 275.

CHAPITRE II

PUISSANCE DE TRACTION DE LA LOCOMOTIVE

§ 1er. — De l'adhérence. — Limite qu'elle impose à l'effort de traction. — Accouplement des essieux. — Types principaux de machines : à roues libres, à roues accouplées, mixtes.

§ 2. — Travail et effort de traction de la locomotive. — Démonstration de la formule générale, $R = \frac{\pi p d^2 l}{D}$. — Conséquences qu'on peut tirer de cette formule.

§ 3. — Machines à trois essieux. — Application de la formule générale aux trois types de machines à trois essieux. — Calcul de la puissance de ces machines. — Remarques. — Vitesse minima.

§ 1er — DE L'ADHÉRENCE

La première notion et la plus importante à considérer quand on étudie l'emploi de la locomotive à la traction des trains, c'est ce coefficient de frottement du fer sur le fer, dont nous avons déjà parlé, et qu'on nomme l'*adhérence*. Quelle que soit, en effet, la puissance du moteur placé sur la locomotive, l'adhérence impose à l'effort de traction une limite qu'on ne peut dépasser, et voici pourquoi.

Ainsi que nous l'avons déjà expliqué (tome I, page 74), la puissance de la vapeur est employée dans la locomotive à produire le mouvement alternatif de deux pistons, qui se meuvent dans deux cylindres placés de part et d'autre du véhicule ; ce mouvement alternatif est transformé, par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle, en un mouvement de rotation d'un essieu, qu'on appelle l'*essieu moteur*, et qui entraîne dans sa rotation les roues dont il est solidaire. Le mouvement de rotation de ces roues les fait avancer sur les rails et ce mouvement produit le déplacement de la locomotive et, par suite, celui du train.

Mais, pour que ce mouvement d'avancement par roulement puisse avoir lieu, il faut de toute nécessité que les résistances à vaincre dans ce but ne soient pas plus grandes que celles que les roues motrices auraient à surmonter pour tourner sur place, en glissant ; autrement, c'est ce dernier

mouvement qui se produirait et tout le travail de la machine à vapeur serait employé à le faire naître et à l'accélérer. On dit dans ce cas que la locomotive *patine*.

La résistance totale du train, c'est-à-dire l'effort de traction maximum à demander à la locomotive, a donc pour limite supérieure la résistance des roues motrices au glissement.

Si l'on appelle :

ϖ la partie du poids de la machine qui porte sur les roues motrices ;

f le coefficient de frottement du fer sur le fer ;

le produit ϖf représentera précisément la force qui produirait ce glissement.

ϖf est donc le plus grand effort qu'on puisse demander à une locomotive pour la traction des trains.

Le poids ϖ se nomme *poids adhérent ;* quant au coefficient f, on l'appelle coefficient d'*adhérence* ou simplement *adhérence*.

On comprend dès lors l'importance du rôle que joue ce produit ϖf, puisque, quelle que soit la puissance du moteur installé sur la locomotive, il représente dans tous les cas le maximum de l'effet de traction qu'on peut lui demander.

Il inporte donc de connaître avant tout la valeur de ce produit et, par conséquent, d'étudier séparément chacun de ses facteurs. Nons commencerons par le coefficient f.

La valeur de ce coefficient est très variable suivant les climats et, dans une même région, suivant les circonstances atmosphériques.

Des expériences très nombreuses et très précises ont été faites à cet égard en Angleterre par M. *Wood*, en France par *Seguin aîné*, par M. *Bochet*, ingénieur en chef des mines, par MM. *Vuillemin*, *Guebhard* et *Dieudonné*, ingénieurs de la compagnie de l'Est ; les résultats obtenus peuvent être résumés ainsi qu'il suit :

C'est par les temps secs et en pays bien découvert que l'adhérence atteint sa plus grande valeur ;

C'est par les temps de brouillard et de légère humidité qu'elle descend à sa valeur la plus faible ;

Par les grandes pluies, au contraire, lorsque les rails sont complètement mouillés, l'adhérence augmente et se rapproche de la valeur qu'elle a par les temps secs.

L'adhérence est faible dans les souterrains, où les rails sont toujours recouverts d'une légère humidité ; elle diminue également quand, à l'automne, les rails sont recouverts de feuilles mortes, ainsi qu'en temps de verglas.

Ces résultats, dont l'un au moins peut paraître singulier, sont cepen-

dant établis d'une manière certaine par de nombreuses expériences et confirmés depuis de longues années par la pratique journalière des chemins de fer.

Il n'est pas étonnant que les rails soient plus glissants par le temps humide que par le temps sec, mais ce qui peut surprendre, c'est qu'étant très glissants lorsqu'ils sont recouverts d'une légère humidité, ils ne le soient presque plus quand une pluie abondante les a mouillés complètement.

On explique ce fait jusqu'à un certain point, en remarquant qu'une très petite quantité d'eau ne fait que délayer les poussières et les petits corps étrangers qui recouvrent toujours plus ou moins la surface des rails, tandis qu'une grande pluie les enlève complètement et établit à peu près le frottement direct du fer sur le fer. Quoi qu'il en soit de cette explication, le fait est certain et il faut bien l'admettre.

Voici les valeurs trouvées pour le coefficient d'adhérence dans les diverses circonstances atmosphériques.

Par les temps très secs, ce coefficient, rapport entre le frottement et la pression qui le produit, s'élève jusqu'à 1/4, soit . . . . . 0,25.

Dans les temps de légère humidité, de brouillard et dans les souterrains, il s'abaisse jusqu'à 1/9 ou 1/10, quelquefois même 1/11, soit en moyenne. . . . . 0,10 à 0,11.

Quand une forte pluie a lavé les rails, il remonte jusqu'à 1/5 ou 1/6, soit. . . . . 0,17 à 0,20.

Dans les circonstances ordinaires, il est de 1/6 à 1/7, soit. 0,14 à 0,17.

Ce sont ces derniers chiffres qu'on adopte habituellement en France dans les calculs relatifs à la traction. L'expérience a montré qu'avec ces chiffres le patinage des machines est rare au moins en pleine voie. D'ailleurs, quand il se produit, on le combat, soit en lavant les rails par un jet de vapeur, soit en employant du sable qui, répandu sur la surface des rails, augmente beaucoup le coefficient de frottement.

A cet effet, une *boîte à sable* est placée sur le dos de la chaudière et le mécanicien a sous la main un appareil qui lui permet, chaque fois que cela est nécessaire, de faire couler le sable par un tuyau qui le dépose tout près et en avant du point de contact de la roue motrice avec le rail. Nous reviendrons sur ce point quand nous décrirons la locomotive.

On voit qu'en somme le coefficient f varie dans des limites assez restreintes et que sa valeur résulte des circonstances atmosphériques. Pour augmenter le produit ϖf, il faut donc augmenter l'autre facteur, ϖ; on y parvient au moyen de l'*accouplement*.

Le poids ϖ est, avons-nous dit, la partie du poids de la machine qui porte sur l'essieu moteur. Considérons une locomotive portée par trois essieux, et supposons, ce qui revient à négliger les inégalités de répartition, que

chaque essieu supporte, le tiers du poids P de la machine. Le poids adhérent ϖ est au plus égal à $\frac{1}{3}$ P. D'ailleurs, le poids qui porte sur un essieu ne peut pas être augmenté au delà d'une certaine limite sous peine de détériorer la voie et le matériel.

Nous admettrons que cette limite soit fixée à 14 tonnes par essieu sur une bonne voie en rails d'acier[1], de sorte qu'avec une paire de roues motrices l'adhérence en service normal soit comptée au maximum pour

$$\frac{14\,000 \text{ kg.}}{6} = 2\,335 \text{ kg.},$$

et que l'effort de traction se trouve limité à ce chiffre, dans les circonstances ordinaires du coefficient d'adhérence. Si l'effort à produire est supérieur à ce chiffre, on *accouple* deux essieux; pour cela, on monte sur les deux roues à solidariser (fig. 555) deux manivelles AB, CD d'égale longueur

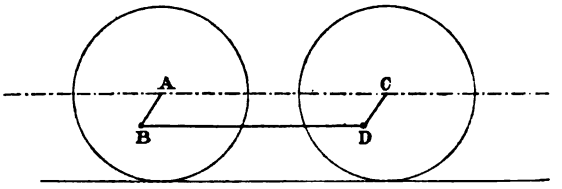


Fig. 555.

et dans des positions exactement parallèles et on réunit leurs extrémités par une bielle horizontale BD articulée aux points B et D, et dont la longueur est égale à la distance qui sépare les axes des deux essieux. Les deux roues, ainsi réunies par la *bielle d'accouplement* BD, ne peuvent plus tourner qu'ensemble. Pour que l'une d'elles tourne en glissant sur le rail, il faut nécessairement que l'autre tourne en glissant aussi, et qu'elle surmonte pour cela le frottement de glissement correspondant au poids dont elle est chargée.

Le poids adhérent se trouve, par suite, doublé, et la limite de l'effort de traction devient, dans l'hypothèse où nous nous sommes placés, égale à 4 670 kilogrammes.

On peut de même accoupler les trois essieux de la machine et porter ainsi à 9340 kilogrammes le maximum de l'effort de traction.

Nous verrons plus loin qu'on emploie également des machines portées par 4, 5 et même 6 essieux, qui permettent d'élever encore la limite de cet effort.

Mais en nous limitant, pour le moment, aux machines ordinaires à trois

[1] Sur les voies extrêmement robustes parcourues par des trains rapides et lourds, on a été conduit à élever cette limite et à la porter à 15, 16 ou même 18 tonnes par essieu. Mais le chiffre de 14 tonnes correspond bien aux conditions ordinaires de la pratique, en dehors de ce cas spécial.

essieux, si nous comparons les chiffres indiqués ci-dessus à ceux que nous avons donnés précédemment pour la résistance des trains dans diverses conditions de vitesse, de charge et de rampe, nous en tirerons immédiatement les conséquences suivantes :

Pour les trains légers et rapides, l'adhérence d'un seul essieu suffit généralement sur les rampes faibles;

Pour les trains express sur les rampes un peu fortes et pour les trains omnibus en général, deux essieux accouplés sont nécessaires;

Pour les trains de marchandises, il faut presque toujours trois essieux accouplés au moins.

De là, trois types distincts dans les locomotives courantes à trois essieux :

Les machines à roues libres;

Les machines à roues accouplées, dans lesquelles les trois essieux sont réunis par des bielles d'accouplement;

Les machines mixtes, dont un essieu est libre et les deux autres accouplés.

Les figures 556, 557 et 558 représentent la disposition générale d'une machine de chacun de ces trois types.

L'accouplement fournit un moyen très simple d'obtenir le supplément d'adhérence dont on a besoin; mais il n'est pas sans quelques inconvénients pour le matériel.

Les résistances passives du mécanisme se trouvent augmentées; elles peuvent devenir très grandes, si les bielles d'accouplement ne sont pas rigoureusement égales en longueur à la distance qui sépare les axes des essieux accouplés, ou si les diamètres au roulement des roues accouplées ne sont pas exactement les mêmes.

L'accouplement des essieux commande donc des conditions particulières de précision dans la construction des machines; en outre, comme les bandages des roues peuvent s'user inégalement et qu'on ne peut pas les remettre constamment sur le tour, il y a presque toujours, dans les machines en service, une petite inégalité de diamètre des roues accouplées et, par suite, un frottement de glissement de ces roues sur les rails.

Ces inconvénients s'accroissent rapidement avec le nombre des essieux accouplés. Mais ils ne sauraient entrer en balance avec l'avantage précieux qu'on trouve à élever le poids adhérent sans augmenter le poids mort de la machine et, en fait, aujourd'hui qu'on a réussi à faire des bielles d'accouplement parfaitement ajustées, l'accouplement des essieux est d'une pratique absolument courante et d'ailleurs indispensable, en raison du poids toujours croissant des trains qu'il s'agit de remorquer à grande vitesse.

Les types primitifs des machines dites mixtes (c'est-à-dire à deux essieux accouplés) comportaient simplement un essieu porteur placé à l'avant (fig. 557), et les machines de ce type ont fait depuis longtemps et font encore

d'une manière satisfaisante sur un certain nombre de lignes le service des trains express.

Mais, dans le but d'augmenter la puissance de ces machines pour leur

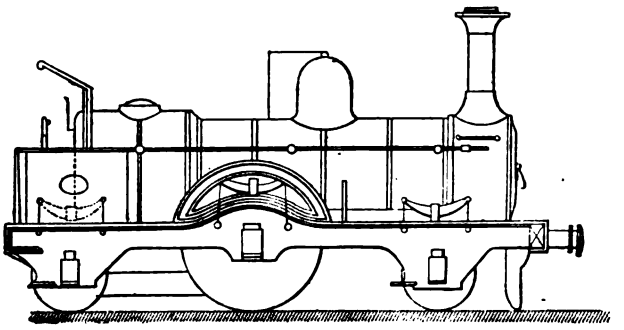


Fig. 556. — Locomotive à roues libres. (Compagnie du Great-Eastern-Railway.)

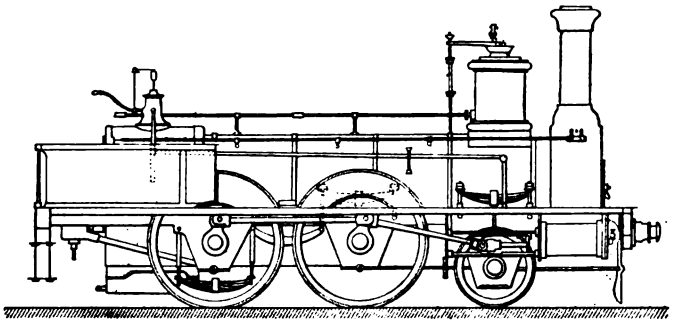


Fig. 557. — Machine mixte. (Compagnie P.-L.-M.)

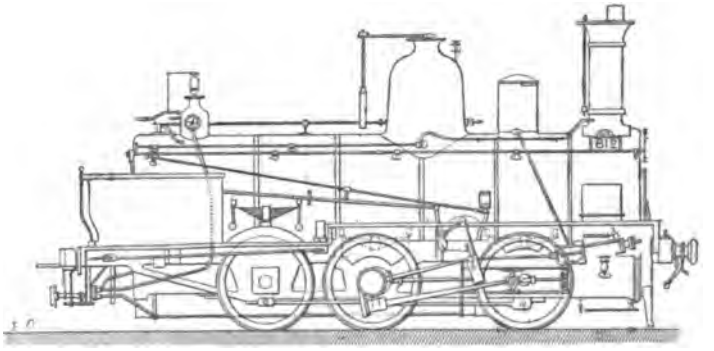


Fig. 558. — Locomotive à 3 essieux accouplés. (Compagnie d'Orléans.)

permettre de remorquer des trains plus lourds et à plus grande vitesse, on a été amené à allonger leur chaudière et à agrandir leur boîte à feu, ce qui a conduit à avoir à l'arrière un porte-à-faux assez considérable, qui n'est pas sans inconvénient au point de vue de la stabilité de la machine. C'est pour ce motif qu'on a adopté en France, sur un certain nombre de réseaux (P.-L.-M., Orléans, État) un quatrième essieu, simplement porteur comme

l'essieu d'avant, mais placé en arrière ou au-dessous du foyer. A la compagnie du Nord, on a préféré conserver les deux essieux accouplés à l'arrière et remplacer l'essieu porteur d'avant par un bogie : cette solution a d'ailleurs été adoptée également depuis par tous les autres réseaux, de sorte que cette machine (deux essieux accouplés avec bogie à l'avant) représente actuellement le type courant des locomotives pour trains express.

On a également construit et on emploie actuellement des machines à deux essieux accouplés qui ont à la fois un bogie à l'avant et un essieu porteur à l'arrière.

Quoi qu'il en soit et sans entrer ici dans le détail des différents types de machines employées sur les chemins de fer, question qui sera traitée plus loin, on voit par les explications qui précèdent que par suite des dispositions particulières de la transmission du mouvement dans les locomotives, il existe, indépendamment de toute considération sur la puissance du moteur employé, une limite à l'effort de traction que l'on peut demander à ce moteur et que cette limite est représentée par ϖf; il s'agit maintenant de voir comment on doit combiner les divers éléments de la locomotive de manière à lui permettre de fournir cet effort de traction maximum ϖf.

§ 2. — TRAVAIL ET EFFORT DE TRACTION DE LA LOCOMOTIVE

Considérée dans sa disposition générale, une locomotive est un véhicule qui porte en lui-même le principe de son mouvement. Elle se compose essentiellement d'un châssis, reposant sur un certain nombre d'essieux, qui porte une chaudière, destinée à fournir de la vapeur, et un mécanisme, chargé de produire le mouvement de rotation des roues motrices.

La locomotive est donc, comme toutes les machines, établie en vue de produire un certain travail et ce travail, dans l'unité de temps, est égal à l'effort de traction multiplié par l'espace parcouru ou la vitesse. Voyons de quelle manière ce travail est réalisé.

La puissance d'une locomotive, c'est-à-dire le travail qu'elle est capable de produire par seconde, est mesurée d'une manière très simple par la quantité de vapeur que peut fournir sa chaudière pendant le même temps, et cette quantité de vapeur peut être considérée elle-même comme proportionnelle à la *surface de chauffe*, c'est-à-dire à la partie de la surface de la chaudière qui reçoit la chaleur du foyer. A dire vrai, cette proportionnalité n'est pas exacte avec les chaudières tubulaires qu'on emploie dans les locomotives, car toutes les parties de la surface de chauffe n'y ont pas la même puissance de vaporisation. Mais il suffit, comme nous le verrons plus loin, de faire subir à cette surface une certaine correction pour que la proportionnalité puisse être admise.

Nous supposerons cette correction faite et nous appellerons S la surface de chauffe ainsi corrigée ; nous pourrons dès lors écrire :

$$\mathfrak{C} = KS. \tag{1}$$

$\mathfrak{C}$ représente la puissance de la machine, évaluée soit en chevaux, soit en kilogrammètres par seconde ;

K est un coefficient constant, que nous apprendrons plus tard à déterminer ;

S désigne la surface de chauffe supposée réduite de manière à donner la mesure de son pouvoir réel de vaporisation.

KS est ainsi le travail maximum que l'on peut demander à la machine, étant données la disposition de ses organes et la manière dont elle utilise la chaleur de son foyer pour produire de la vapeur.

Ce travail maximum n'est pas celui qui se produit en marche à chaque instant ; ce dernier varie avec l'effort de traction et la vitesse, les deux facteurs dont il est le produit, et il n'est égal à KS que dans les cas où la machine utilise toute sa puissance de vaporisation. Suivons donc la vapeur dans sa marche à travers la machine et évaluons séparément le travail moteur et le travail résistant.

Appelons :

p_1 la pression effective de la vapeur dans les cylindres, c'est-à-dire la différence moyenne de pression entre les deux faces du piston pendant sa course, cette pression étant rapportée à l'unité de surface ;

d le diamètre des cylindres ;

l la course des pistons.

Le travail moteur pendant une course du piston est égal à la pression totale sur une face du piston, ou $p_1 \frac{\pi d^2}{4}$, multipliée par l'espace parcouru, l ; soit

$$p_1 \frac{\pi d^2 l}{4}.$$

A chaque coup de piston ce travail est produit deux fois, une fois à l'aller, une fois au retour ; comme il y a deux cylindres à la locomotive, le travail total pendant un coup de riston est $p_1, \pi d^2 l$ et, si on appelle n le nombre des coups de piston par seconde, on voit que le travail moteur dans l'unité de temps se trouve représenté par

$$T = p_1 \pi d^2 ln. \tag{2}$$

Passons maintenant au travail résistant.

Les différentes résistances à vaincre pour produire le mouvement du train, résistances que nous avons évaluées dans le chapitre précédent, peuvent être ramenées à une seule force tangente à la circonférence des roues motrices à leur point de contact avec les rails et dirigée en sens inverse du mouve

ment. Dans le cas où le mouvement du train est uniforme, cette force, que nous désignerons par R, est égale et contraire à l'effort de traction.

Si D est le diamètre des roues motrices, l'espace parcouru pendant un tour de roue est égal à πD et, comme il y a autant de tour de roues que de coups de piston, c'est-à-dire n par seconde, le travail résistant dans l'unité de temps se trouve représenté par

$$T = R\pi Dn \tag{3}$$

Le mouvement du train étant supposé uniforme, le travail moteur est égal au travail résistant et l'on a la relation

$$RD = p_1 d^2 l, \tag{4}$$

qu'on peut appeler l'*équation de la locomotive*.

Elle montre la relation qui existe, dans toute machine locomotive, entre l'effort de traction R, les dimensions principales du mécanisme et la pression de la vapeur dans le cylindre.

Cette formule va nous permettre de déterminer le maximum de l'effort de traction et de tirer certaines conséquences importantes au point de vue des proportions du mécanisme.

Elle peut, en effet, s'écrire :

$$R = \frac{p_1 d^2 l}{D} \tag{5}$$

Il est clair que, pour une machine de dimensions données, R sera maximum lorsque p_1 aura sa plus grande valeur.

Or, la pression p_1 dans le cylindre est évidemment une fonction directe de la pression dans la chaudière et elle est toujours inférieure à cette dernière pour plusieurs raisons : d'abord, à cause des frottements, des étranglements de la vapeur, de ses condensations partielles dans le trajet qu'elle effectue pour passer de la chaudière au cylindre, il y a toujours une certaine perte de pression à l'admission ; en second lieu, les locomotives sont établies, comme toutes les machines, de manière à réserver à la vapeur une certaine détente dans le cylindre, circonstance qui permet de réaliser une certaine quantité de travail sans dépense de vapeur. Pour ces deux raisons, il faut compter que p_1 sera toujours notablement inférieur à la pression de la vapeur dans la chaudière, surtout avec les locomotives de construction récente, qui sont ordinairement disposées en vue d'une large détente.

On admet que la plus grande valeur que puisse prendre la pression moyenne p_1 dans le cylindre, pendant une course du piston, est égale aux 65 centièmes de la pression p de la vapeur dans la chaudière.

Remplaçons p_1 par $0{,}65\,p$ dans la formule (5), nous aurons :

$$\text{Maximum de } R = \frac{0{,}65\,p\,d^2 l}{D}. \tag{6}$$

Cette formule donne le maximum pratique de l'effort de traction que la machine peut produire, eu égard au timbre de sa chaudière[1] et aux dimensions de son mécanisme[2].

p représente la pression effective de la vapeur, indiquée par le timbre de la chaudière.

Ce maximum de l'effort de traction correspondra, d'ailleurs, au minimum de la vitesse, la machine étant supposée utiliser toute sa puissance de vaporisation.

En effet, si nous reprenons la formule (2) qui représente le travail moteur, nous voyons que ce travail est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnel à p_1 et au nombre de coups de piston n, c'est-à-dire à la vitesse. Or, la chaudière étant supposée fournir d'une manière constante une même quantité de vapeur à la même pression, le travail moteur sera nécessairement constant et, par suite, si p_1 varie, il faudra que n varie exactement dans la proportion inverse, à la condition toutefois que ces variations ne sortent pas des limites compatibles avec une bonne utilisation de la vapeur. Par conséquent, au maximum de p_1 doit correspondre le minimum de n et, par suite, de la vitesse de la locomotive.

Cette conclusion, qui ressort de l'examen de la formule (2), peut encore être mise en évidence par le raisonnement suivant :

La chaudière fournit dans l'unité de temps une certaine quantité de vapeur à une pression donnée ; il est clair que, d'après la manière dont on réglera l'admission de cette vapeur, on pourra la dépenser en un plus ou moins grand nombre de cylindrées ; mais alors, chaque cylindrée recevant moins ou plus de vapeur, la pression moyenne qui se produira dans le cylindre sera moins grande ou plus grande.

La vitesse V du train est donnée par l'expression :

$$V = \pi D n,$$

et, comme on a, d'après la formule (2)

$$n = \frac{T}{p_1 \pi d^2 l},$$

[1] Aux termes d'un décret du 30 avril 1880, après qu'une chaudière a été éprouvée avec succès, il y est apposé un *timbre* indiquant, en kilogrammes par centimètre carré, la pression effective que la vapeur ne doit pas dépasser.

Cette pression effective, pour une chaudière placée à l'air libre, est égale à la pression intérieure de la vapeur diminuée de la pression atmosphérique (1,0333 kg. par centimètre carré). Ainsi, dans une chaudière timbrée à 5 kilogrammes, la pression intérieure peut atteindre 5 + 1,0333 kg. soit 6,0333 kg. par centimètre carré.

[2] Cette valeur de R ne représente pas le maximum possible de l'effort de traction. Il résulte notamment des expériences de M. Nadal que le coefficient de réduction introduit dans la formule peut atteindre 0,85 aux très faibles vitesses ; mais il diminue quand la vitesse augmente et il est prudent de compter en pratique sur un effort moindre, calculé avec le coefficient 0,65.

on aura, pour le minimum de la vitesse :

$$\text{Minimum de } V = \frac{TD}{0{,}65\ p\ d^2 l}; \qquad (7)$$

T étant le travail de la machine supposée utilisant toute sa puissance de vaporisation.

On tire des formules (6) et (7) des conséquences importantes au point de vue de la construction des locomotives.

La formule (6) montre que, pour augmenter la valeur de l'effort de traction maximum, il faut augmenter les quantités p, d et l, ou diminuer le diamètre des roues motrices D.

Les locomotives sont des machines à haute pression : elles sont couramment timbrées à 9, 10 et 11 kilogrammes. Cette valeur du timbre n'a cessé de s'accroître depuis l'origine des chemins de fer, à mesure que les procédés de construction devenaient plus parfaits ; elle est limitée surtout par la difficulté de tenir étanches les joints de la chaudière et la crainte de faire gripper les tiroirs. On emploie cependant depuis quelques années des locomotives dans lesquelles la pression atteint 12, 15 et même 16 kilogrammes par centimètre carré.

Le diamètre des cylindres (*d*) est généralement compris entre 0,35 m. et 0,55 m. et la course des pistons (*l*) entre 0,45 m. et 0,65 m. Ces deux éléments sont habituellement liés par la relation $l = 1{,}2 \times d$. On ne peut pas faire varier beaucoup les valeurs de d et de l, parce qu'on ferait varier en même temps, dans une proportion inverse, le nombre des coups de piston par seconde (formule 2). Or, il importe au bon fonctionnement de la machine que ce nombre ne varie pas dans les limites trop étendues. Une trop grande vitesse de mouvement des organes moteurs doit être évitée. On ne peut guère dépasser trois à quatre tours de roue par seconde, ni, d'un autre côté, descendre au-dessous de deux tours, sinon la machine n'aurait plus une force vive suffisante pour franchir les inégalités de la voie.

Reste donc D, le diamètre des roues motrices, qu'on peut faire varier dans des limites assez étendues. La formule (6) montre que, pour un même travail de la machine et une même pression de la chaudière, l'effort de traction pourra être d'autant plus grand que le diamètre des roues motrices sera plus petit ; mais la formule (7) fait voir que la vitesse du train variera dans une proportion inverse, c'est-à-dire qu'elle sera d'autant plus grande que ce diamètre sera plus grand.

De là les règles pratiques suivantes, qui sont toujours suivies dans la construction des locomotives :

Pour les trains lents et exigeant un grand effort de traction, adopter de petites roues.

Cette règle permet, à la simple inspection des roues d'une locomotive, de reconnaître si c'est une machine à voyageurs ou une machine à marchandises. Les roues motrices de la première sont toujours beaucoup plus grandes que celles de la seconde, et la différence de diamètre peut atteindre et même dépasser un mètre

Il y a cependant des raisons qui s'opposent à ce que ce diamètre varie dans des limites trop étendues : des roues d'un très grand diamètre absorberaient une partie importante du poids total de la machine et élèveraient son centre de gravité d'une manière fâcheuse pour la stabilité ; d'un autre côté, des roues très petites opposeraient une très grande résistance au roulement et les têtes de bielles se rapprocheraient beaucoup du ballast et risqueraient d'en toucher les inégalités.

En France, le diamètre des roues motrices des machines à express ne dépasse guère 2,30 m. ; le plus souvent, on le tient au-dessous de 2,20 m. Avec ce dernier diamètre, à une vitesse de 100 kilomètres à l'heure, le nombre de tours de roue par seconde est de :

$$\frac{100}{3{,}6 \times \pi \times 2{,}20} = 4 \text{ environ.}$$

Pour les machines à marchandises on adopte des valeurs beaucoup plus faibles, variant de 1,20 m. à 1,30 m. ; on ne descend guère au-dessous de 1,20 m.

Remarque importante. — Il ne faut pas perdre de vue que l'effort de traction maximum donné par la formule (6) n'est réalisable qu'à la condition de ne pas dépasser le produit ϖf, qui résulte de l'adhérence. Dans une machine locomotive bien étudiée, les dimensions du mécanisme d, l et D doivent être combinées de telle sorte que la valeur de R, déduite de la formule (6), soit à peu près égale à ϖf. Il y a évidemment intérêt à ce qu'il en soit ainsi, afin d'utiliser toute l'adhérence disponible ; il ne servirait à rien de donner à R une valeur supérieure à ϖf, puisque cette valeur ne pourrait être réalisée en pratique : le seul résultat qu'on obtiendrait, ce serait d'exposer la machine à patiner quand elle fonctionnerait en pleine admission.

§ 3. — MACHINES A TROIS ESSIEUX

Appliquons les principes ci-dessus exposés à la détermination de la puissance de traction des machines à trois essieux, qui sont de beaucoup les plus nombreuses. Considérons pour cela une machine de chacun des trois types que nous avons indiqués : Machine à roues libres, machine mixte et machine à trois essieux couplés.

Les machines à roues libres, autrefois exclusivement employées pour le service des trains de vitesse, tendent de plus en plus à disparaître pour faire place aux machines mixtes dont le poids adhérent est plus grand et qui sont plus aptes, par conséquent, à faire le service des trains lourds et rapides qui circulent actuellement sur la plupart des réseaux. Nous prendrons donc comme exemple de machine à roues libres un type déjà ancien, celui de la machine Crampton à grande vitesse qui a fait pendant longtemps le service des express de la compagnie P.-L.-M., et qui peut le faire encore sur les lignes à faible pente et à trafic modéré.

Les machines mixtes sont actuellement employées sur tous les réseaux pour le service des trains de voyageurs et il en existe un grand nombre de types. Nous prendrons comme exemple une machine de la compagnie de l'Ouest, de la série 621 appliquée au service des trains express; cette machine dérive d'un type de 1855 qui a été reproduit presque sans changement jusque vers 1874, et qui a permis de faire les trains de voyageurs et une partie des trains de marchandises sur les sections à faible pente du réseau de l'Ouest. C'est donc bien le type de la machine à vitesse moyenne, intermédiaire entre le type à roues libres et la machine à accouplement total.

Enfin, comme machine à 3 essieux couplés, nous prendrons un type de la compagnie P.-L.-M., également ancien, très répandu sur tous les réseaux français et connu sous le nom de type du *Bourbonnais*.

Les éléments principaux de ces trois types de machines sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS	MACHINE Crampton P.-L.-M.	MACHINE mixte de l'Ouest.	MACHINE à 3 essieux couplés. Type du Bourbonnais P.-L.-M.
Poids de la machine en charge. Essieu d'avant.	12 000 kg.	11 950 kg.	11 350 kg.
— du milieu.	6 190 —	13 400 —	11 500 —
— d'arrière.	12 000 —	13 400 —	11 250 —
Total	30 190 —	38 750 —	34 100 —
Poids adhérent (ϖ)	12 000 —	26 800 —	34 100 —
Timbre de la chaudière	9 —	10 —	9 —
Surface de grille	1,28 m²	1,64 m²	1,34 m²
Surface de chauffe. Foyer	6,45 —	9,60 —	7,15 —
Tubes	90 » —	101, » —	108,76 —
Total	96,45 —	110,60 —	115,91 —
Dfamètre des roues motrices (D)	2,09 m.	2,04 m.	1,30 m.
Diamètre des cylindres (d)	0,40 —	0,43 —	0,45 —
Course des pistons (l)	0,60 —	0,60 —	0,65 —

Ces différents éléments permettent de déterminer la puissance, l'effort de traction et les ressources de chacune des machines, ainsi que nous allons le montrer.

En premier lieu, le timbre de la chaudière donne la valeur de la pression effective, p, que la vapeur ne doit pas dépasser ; cette valeur, exprimée en kilogrammes par mètre carré, est donc égale à 90 000 kilogrammes pour la 1re et la 3e machine et à 100 000 kilogrammes pour la seconde.

Connaissant p et les dimensions du mécanisme d, l et D, la formule (6) précédemment établie donne l'effort de traction maximum que chaque machine peut fournir. On trouve, en faisant le calcul, les valeurs suivantes :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
2 686 kg.	3 535 kg.	5 922 kg.

Quant à la limite imposée à l'effort de traction par l'adhérence, elle est exprimée ϖf ; en faisant varier f entre les limites de 1/6 et 1/7, qui correspondent aux circonstances ordinaires de la pratique, on trouve :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
ϖf = de 1 700 à 2 000 kg.	de 3 830 à 4 470 kg.	de 4 860 à 5 670 kg.

Calculons maintenant la *puissance* de chaque machine.

On sait que la puissance d'un moteur s'exprime habituellement en chevaux-vapeur et qu'elle est égale au nombre de chevaux de 75 kilogrammètres par seconde qu'il développe à son allure normale.

La puissance d'une locomotive n'est donc pas autre chose que le travail qu'elle produit par seconde ; ce travail, qui est égal à chaque instant au produit de l'effort de traction par l'espace parcouru, est variable et ne peut être déterminé exactement que lorsque l'allure de la machine est elle-même déterminée comme vitesse, pression et détente. Le calcul exact de ce travail se fait pour une locomotive au moyen de la formule (2) que nous avons précédemment établie,

$$T = p_1 \pi d^2 ln,$$

formule dans laquelle l'élément *force* est représenté par la pression p_1 et l'élément *vitesse* par le nombre de coups de piston.

Mais il est possible de déterminer approximativement la puissance effective de la machine à son allure normale, au moyen de sa surface de chauffe. C'est ce que nous allons faire.

Nous avons vu que le travail que peut produire une locomotive est représenté par la formule (1) :

$$\mathfrak{T} = KS,$$

et nous savons que, dans cette formule, S désigne, non pas la surface de chauffe réelle, mais cette surface corrigée de manière que chacun de ses éléments puisse être considéré comme contribuant également à la production de la vapeur.

Il est évident que cette condition n'est pas remplie dans les chaudières tubulaires qu'on emploie pour les locomotives. La partie de la chaudière qui est directement exposée à la flamme du foyer, celle qui donne la *surface de chauffe directe*, reçoit beaucoup plus de chaleur que les tubes et doit avoir, à surface égale, une puissance de vaporisation bien plus grande que ceux-ci, qui sont simplement en contact avec les gaz de la combustion. La surface des tubes eux-mêmes est d'autant plus échauffée qu'elle est plus rapprochée du foyer, de sorte que l'action vaporisante des tubes diminue graduellement depuis leur origine au foyer jusqu'à leur extrémité à la cheminée.

Il serait fort intéressant de connaître la loi d'après laquelle la vaporisation varie d'un bout à l'autre de la chaudière : malheureusement les expériences faites à cet égard n'ont pas donné de résultats absolument concluants.

D'après les expériences très complètes qui ont été faites au chemin de fer du Nord de 1860 à 1864 sous la direction de M. *Geoffroy* et dont le compte rendu se trouve dans l'ouvrage de M. Couche[1], la surface de chauffe du foyer serait, à étendue égale, trois ou quatre fois plus puissante que la surface de chauffe *indirecte*, ou des tubes.

Des observations ont été faites également à la compagnie du Midi par M. *Laurent*, ingénieur en chef de la traction[2], et, d'après les résultats obtenus, on a admis à cette compagnie ;

1° Qu'au delà de 4 mètres de longueur. les tubes n'ajoutent pas sensiblement à la production de la vapeur et qu'il suffit de considérer la surface de chauffe en supposant les tubes réduits à cette longueur de 4 mètres;

2° Qu'un mètre carré de surface de chauffe indirecte produit trois fois moins de vapeur qu'un mètre carré de surface de chauffe directe.

Si on désigne par S′ la surface de chauffe directe, par S″ la surface des tubes, supposés limités à 4 mètres de longueur, cette règle revient à admettre que la surface de chauffe comparative S est donnée par la formule :

$$S = S' + \frac{S''}{3}.$$

C'est là une formule commode pour transformer la surface de chauffe réelle en une surface comparative pouvant servir de mesure au travail de la machine. Adoptons-la, sans discuter pour le moment son degré d'exactitude.

Dans les trois types de machines que nous considérons, la longueur des tubes est respectivement de :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
3,46 m.	3,20 m.	4,252 m.

[1] Couche, *ouvrage cité*, t. III, p. 32.

[2] Couche, *ouvrage cité*, t. II, p. 618.

La surface des tubes du troisième type devra donc être réduite en la multipliant par le rapport $\frac{4}{4,252}$, ce qui la ramènera à 102,31m². On aura ainsi pour la surface de chauffe comparative :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
$S = \begin{cases} 6,45\ m^2 + \frac{90}{3} \\ \text{ou } 36,45\ m^2 \end{cases}$	$S = \begin{cases} 9,60\ m^2 + \frac{101}{3} \\ \text{soit } 43,30\ m^2 \end{cases}$	$S = \begin{cases} 7,15\ m^2 + \frac{102,31}{3} \\ \text{soit } 41,25\ m^2 \end{cases}$

Indépendamment de la correction précédente, destinée à rendre comparables les surfaces de chauffe des machines d'un même type, on faisait autrefois subir aux nombres que nous venons de trouver une nouvelle modification dans le but de les rendre pratiquement comparables, d'un type à l'autre. Voici pourquoi.

On a admis pendant longtemps que la vitesse de translation des machines avait une influence sensible sur la production de la vapeur et que celle-ci augmentait avec la vitesse par suite du plus grand nombre de coups de piston dans le même temps, correspondant à un plus grand nombre de coups d'échappement, et, par suite, à un tirage plus énergique. On avait donc l'habitude, lorsqu'on voulait comparer la puissance de machines de types différents, destinées à marcher à des vitesses très diverses, de multiplier les surfaces de chauffe trouvées ci-dessus par les coefficients suivants :

1 pour les machines à grande vitesse;
0,85 pour les machines à vitesse moyenne;
0,70 pour les machines à petite vitesse.

On obtenait ainsi des surfaces de chauffe comparatives qui se trouvaient réduites pour les deux derniers types de machines, ce qui revenait à admettre que, par suite de leur marche moins rapide, ces deux types devaient nécessairement utiliser moins bien la puissance de vaporisation de leurs chaudières.

Cette opinion a été vivement combattue par M. Couche[1] qui la considérait comme le résultat de simples *observations* et non pas d'*expériences* proprement dites. C'était d'après lui, la constatation de ce que l'on faisait et non de ce que l'on pourrait faire. M. Couche écrivait ce qui suit à ce sujet, dès 1875 : « Si la proportionnalité de la consommation, de la production de vapeur et du travail à la surface de chauffe n'est pas réalisée en général; si sur la plupart des lignes, les machines à petite vitesse produisent moins de vapeur par unités de surface de chauffe et de temps que les machines à grande vitesse, c'est tout simplement parce qu'on le veut bien. C'est qu'on pousse

[1] *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. II, p. 589; t. III. p. 37.

beaucoup moins activement le feu dans les machines à petite vitesse que dans les machines à grande vitesse, et qu'on demande aux premières beaucoup moins de travail qu'elles n'en peuvent et qu'elles n'en doivent donner : situation anti-économique, que rien ne justifie, mais qui est consacrée par une longue habitude. »

Sur le réseau de Lyon, on a cherché, dès 1863, à utiliser complètement la puissance de vaporisation des machines et on a posé en principe que, pour toutes les machines indistinctement, la vaporisation brute normale serait de 40 kilogrammes de vapeur par mètre carré et par heure, quelle que soit la vitesse de marche. Il n'a été fait une exception, toute naturelle du reste, que pour les machines de rampes à 8 roues accouplées, dont nous parlerons ultérieurement, et pour lesquelles ce chiffre a été abaissé à 35 kilogrammes, à cause de la grande longueur de leurs tubes (5,36m.) La conséquence immédiate de cette mesure a été un accroissement de plus de 30 p. 100 de la charge des machines à marchandises et l'effectif des locomotives de la compagnie a pu ainsi suffire au développement du réseau et du trafic kilométrique.

On doit donc admettre et on admet en effet aujourd'hui que, *lorsque les machines des différents types utilisent complètement leur puissance de vaporisation*, elles doivent fournir la même quantité de vapeur par mètre carré de surface de chauffe, cette dernière étant supposée évaluée comme nous l'avons dit $\left(S = S' + \frac{S''}{3}\right)$.

Calculons maintenant le travail que permet de produire la surface de chauffe réduite S ; il faut pour cela connaître la valeur du coefficient K dans la formule $T = K\,S$.

Il résulte d'une note de M. l'ingénieur en chef Laurent citée par M. Couche[1] qu'on a appliqué pendant longtemps sur le réseau du Midi la formule suivante, pour déterminer la limite de l'effort de traction R qui résulte des valeurs corrélatives de la surface de chauffe et de la vitesse :

$$R = 2\,960 \times \frac{S}{V},$$

S désignant la surface de chauffe réduite ;

V la vitesse en kilomètres à l'heure.

Voici comment cette formule était établie :

On admettait, d'après de nombreuses expériences faites sur le réseau, qu'une machine de bon rendement pouvait développer, jusqu'à la vitesse limite de 60 kilomètres à l'heure, un effort de traction de 1 850 kilogrammes, lorsque la surface de chauffe (réduite) est de 37,500 m².

[1] Couche, *ouvrage cité*, t. II, p. 622.

Partant de ce résultat et admettant que l'effort de traction par mètre carré de surface de chauffe est inversement proportionnel à la vitesse, on avait la relation.

$$\frac{\frac{R}{S}}{\frac{1850}{37,5}} = \frac{60}{V},$$

d'où l'on tirait la formule citée plus haut :

$$RV = 2\,960\,S\ ^{1}.$$

Pour que le premier membre de cette égalité représentât le travail de la machine, il faudrait que V fût exprimée en mètres à la seconde, au lieu de l'être en kilomètres à l'heure. Or, pour passer de la vitesse V à la vitesse en mètres à la seconde, il suffit de multiplier V par 1 000 et de diviser ensuite le résultat par 3 600, ce qui revient à diviser simplement par 3,6. Divisons donc les deux membres de l'égalité par 3,6; nous aurons :

$$\frac{RV}{3,6} = \mathfrak{C} = 822 \times S.$$

Cette formule donne un moyen simple de calculer la puissance d'une locomotive au moyen de sa surface de chauffe réduite. Sous la forme ci-dessus, les résultats qu'elle donne sont exprimés en kilogrammètres. Pour les avoir en chevaux-vapeur, il suffit de diviser par 75, ce qui donne :

$$\mathfrak{C}_{ch} = 10,9 \times S.$$

D'où cette règle pratique :

La puissance d'une locomotive en chevaux-vapeur s'obtient en multipliant sa surface de chauffe réduite par un coefficient constant, dont la valeur est sensiblement égale à 11.

Si l'on applique cette formule aux trois types de machines considérés, on trouve les résultats suivants, en nombres ronds :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
400 chevaux.	475 chevaux.	450 chevaux.

Remarques. — Le calcul qui précède doit être considéré comme purement

[1] Cette formule n'est plus appliquée depuis longtemps sur le réseau du Midi, où l'on a revisé, il y a une dizaine d'années, tous les calculs servant à établir la puissance des machines et la charge des trains, d'après la méthode du P.-L.-M. Nous citons néanmoins cette formule à titre d'exemple et parce qu'elle est commode. Son inexactitude avait d'ailleurs été signalée dès 1873 par M. Couche qui écrivait ce qui suit : « La proportionnalité inverse entre l'effort de traction et la vitesse n'est pas admissible pour une même machine marchant à différentes vitesses. Cette proportionnalité n'est autre chose que la constance du travail disponible sur les roues motrices; or, à production égale de vapeur, ce travail croît avec la vitesse, l'admission diminuant et la détente, par suite, augmentant. » Couche, t. II, p. 623.

approximatif. Il repose en effet sur l'emploi des deux formules, dont la première ne serait exacte, d'après M. Couche, qu'autant que le rapport de la surface de chauffe directe à la surface tubulaire est à peu près constant, et dont la seconde, adoptée autrefois faute de mieux au réseau du Midi, est aujourd'hui abandonnée.

Au fur et à mesure que l'étude de la locomotive a été plus approfondie et que des expériences plus complètes ont pu être faites sur les différents réseaux, on est arrivé à modifier d'une manière assez sensible les idées que l'on se faisait autrefois sur la puissance de vaporisation des chaudières tubulaires. On pense aujourd'hui, d'après les résultats de nombreuses observations faites de différents côtés, que l'élément le plus important de la puissance de vaporisation de ces chaudières réside dans la *surface de grille*, qui autrefois n'intervenait pas dans les calculs. C'est à la compagnie P.-L.-M. que ces idées se sont, pour la première fois, traduites en formule.

M. E. Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction de cette compagnie, a établi il y a fort longtemps, dans un travail élaboré pour l'instruction du personnel sous ses ordres, et d'après de nombreuses observations qu'il a faites sur cette question, que la production de vapeur dans une chaudière de locomotive ne dépend que de la surface de la grille et de la surface de chauffe réelle, et que la quantité d'eau totale vaporisée ou entraînée par heure peut être représentée d'une façon suffisamment exacte par la formule :

$$Q = 368\sqrt{cg},$$

dans laquelle :

Q représente la quantité d'eau vaporisée y compris l'eau entraînée (en kilogrammes par heure) ;

c la surface de chauffe réelle (en mètres carrés) ;

g la surface de grille (en mètres carrés)[1].

D'autre part, et plus récemment, à la suite des expériences faites à partir de 1901 sur les locomotives du réseau de l'État, M. Nadal, ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction de ce réseau, a été conduit à admettre que la quantité de vapeur qu'une chaudière de locomotive peut produire par heure, en régime soutenu, peut être calculée avec une assez grande exactitude par la formule

$$Q = 1\,000\sqrt{\left(g\,(c' + \frac{c''}{6}\right)}$$

[1] A. Leroy. *Traité pratique des machines locomotives*, 7e édition, p. 72.
On verra plus loin quà la compagnie d'Orléans cette formule a été remplacée par la suivante

$$Q = 560\sqrt{cg}.$$

ce qui revient à admettre une puissance de vaporisation plus grande, à égalité de surface de grille et de surface de chauffe.

dans laquelle g est la surface de grille, c' la surface de chauffe directe et c' la surface de chauffe indirecte, exprimées en mètres carrés.

Il paraît même résulter, d'après M. Nadal, des expériences qui ont été faites à Saint-Louis (États-Unis) en 1904, que, pour les types de locomotives actuellement employés, on obtient des chiffres au moins aussi exacts pour la quantité de vapeur produite par heure, en la calculant simplement par la formule

$$Q = 4\,000\ g.$$ [1]

Cette dernière formule, en particulier, montre l'influence prépondérante qu'exerce sur la vaporisation la surface de grille, puisque la surface de chauffe proprement dite, directe ou tubulaire, n'intervient même plus dans le calcul. Cette formule fournit un moyen commode pour calculer la puissance en chevaux d'une locomotive, à la condition de connaître la consommation de vapeur par cheval indiqué.

Or, il résulte également de nombreuses observations faites dans ces dernières années que les machines à simple expansion consomment environ 13 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure ; dans les machines compound, dont l'emploi se répand de plus en plus et dont nous parlerons ultérieurement, cette consommation est moindre et se réduit à 10,5 kg. [2].

La puissance en chevaux des trois machines dont nous nous sommes occupé jusqu'à présent sera donc donnée par la formule

$$P = \frac{4\,000\ g}{13},$$

ou simplement

$$P = 300\ g. \qquad (a)$$

Pour les machines compound, la formule serait

$$P = 380\ g. \qquad (b)$$

En appliquant la formule (a) à nos trois locomotives, dont la surface de grille est respectivement de

1,28 m². 1,64 m². 1,34 m²,

on trouve pour la puissance en chevaux les chiffres suivants en nombres ronds.

1er Type.	2e Type.	3e Type.
384 chevaux.	490 chevaux.	400 chevaux.

[1] Cette formule doit être considérée comme applicable seulement aux machines actuelles, c'est à-dire à celles dont la surface du grille est dans un rapport convenable avec la surface de chauffe.

[2] Renseignement fourni par M. Nadal.

Ajoutons enfin que, sur les grands réseaux français, les ingénieurs en chef de traction se sont mis d'accord pour calculer, par la formule empirique ci-après, la puissance en chevaux des différentes machines employées sur ces réseaux :

$$P = 20\sqrt{GC_r p}$$

G, surface de grille en mètres carrés,

C_r, surface de chauffe réduite, en mètres carrés ; cette surface est obtenue en ajoutant à la surface de chauffe directe le tiers de la surface de chauffe indirecte ou des tubes ;

p, timbre de la chaudière.

Si l'on applique cette formule aux trois types de machines déjà envisagés, on trouve les résultats suivants :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
410 chevaux	533 chevaux.	446 chevaux.

Au lieu d'exprimer la puissance d'une machine en fonction de sa surface de chauffe réduite, on pourrait aussi la rapporter à la surface réelle. D'après les ingénieurs de la compagnie de l'Est qui ont fait la série des expériences dont nous avons parlé au sujet de la résistance des trains, la puissance des machines de ce réseau marchant aux vitesses maxima qui leur conviennent respectivement est donnée par les nombres suivants[1] :

	VITESSE	PUISSANCE	
		total.	par mètre carré de chauffe.
Machines Crampton	80 km. à l'heure,	400 ch.	4,3 ch.
— mixtes	55 —	300 —	3,0 —
— à 3 essieux couplés (D = 1,40 m.)	30 —	300 —	2,4 —
— — (D = 1,30 m.)	26 —	276 —	2,7 —

Ces chiffres sont ceux qui résultent des conditions du service tel qu'il était organisé au moment où les expériences ont eu lieu ; les différences entre la valeur du travail par unité de surface de chauffe s'expliquent, d'abord par la diversité des types, et ensuite par l'habitude, que nous avons déjà signalée, de ne pas faire produire aux machines à petite vitesse toute leur puissance de vaporisation.

Aux États-Unis, où les chaudières ont généralement des tubes courts et peu nombreux, et où, par suite, la surface de chauffe est faible, mais efficace, le travail disponible par unité de surface de chauffe est plus grand que dans les machines européennes à vitesse moyenne. Il atteint et dépasse souvent quatre chevaux.

[1] Couche, *ouvrage cité*, t. III, p. 684.

En somme, la puissance effective des machines que nous avons considérées jusqu'ici, dans les conditions habituelles de leur service, varie entre deux et quatre chevaux à quatre chevaux et demi par mètre carré de surface de chauffe réelle, suivant que les roues sont grandes ou petites, libres ou accouplées. Le premier chiffre doit être considéré comme faible et correspond au cas d'une machine à marchandises utilisant incomplètement sa puissance de vaporisation ; le second chiffre est normal pour une machine à grande vitesse qui utilise tout son travail.

Dans les trois types de machines que nous avons étudiés, si l'on prend pour la puissance les chiffres de la page 373, le rapport de la puissance à la surface de chauffe réelle est respectivement de :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
$\frac{400}{96}$,	$\frac{475}{110}$,	$\frac{450}{115}$,

ce qui donne :

1er Type.	2e Type.	3e Type.
4,16 ch.	4,30 ch.	3,90 ch.

par mètre carré de surface de chauffe.

Vitesse minima. — Enfin, il y a un dernier élément à considérer et non le moins important; c'est le minimum de vitesse qui correspond à l'effort maximum de traction lorsque la machine fournit tout son travail.

On l'obtient en divisant la puissance par l'effort de traction maximum, ce qui, en prenant toujours pour la puissance les chiffres de la page 373, et en ayant égard aux unités diverses au moyen desquelles les quantités sont exprimées, donne les résultats suivants :

	1er Type.	2e Type.	3e Type.
Minimum de la vitesse en kilomètres à l'heure	$\frac{400 \times 75}{2686} \times 3,6$ soit 40 km.	$\frac{475 \times 75}{3535} \times 3,6$ soit 36 km.	$\frac{450 \times 75}{5922} \times 3,6$ soit 20 km.

Ces résultats sont très importants à noter; ils trouveront leur application quand nous nous occuperons de la détermination de la charge des trains. Ils montrent qu'une machine quelconque ne peut pas utiliser toute sa puissance de travail lorsqu'elle marche à une vitesse inférieure à un certain chiffre, variable suivant le type de la machine et qui est, dans celles dont nous nous occupons, de 40 kilomètres à l'heure environ pour les machines à voyageurs et de 20 kilomètres pour les machines à marchandises. Ces vitesses doivent être considérées comme des limites inférieures au-dessous desquelles on ne doit pas descendre, pour une bonne utilisation de la machine ; au-dessous de ces chiffres, le travail disponible n'est pas utilisé.

Le chiffre de 20 kilomètres, qui résulte du calcul précédent pour la machine du type n° 3, serait d'ailleurs un peu élevé pour la plupart des types de machines à marchandises employées en France. La vitesse limite croît avec la puissance de la locomotive : elle diminue au contraire quand l'effort de traction augmente. En général, l'adhérence, limitant l'effort de traction, limite le minimum de la vitesse au chiffre de 15 à 16 kilomètres à l'heure. C'est donc à ce chiffre de 15 à 16 kilomètres que doit être fixée en général la vitesse au-dessous de laquelle la puissance de travail de la machine n'est plus utilisée.

CHAPITRE III

CONDITIONS DE L'EMPLOI DE LA LOCOMOTIVE POUR LA TRACTION DES TRAINS

§ 1er. — Détermination de la charge des trains. — Application des formules de la résistance des trains et de la puissance des locomotives. — Méthode du réseau de l'État. — Méthode de la compagnie d'Orléans.

§ 2. — Machines à plus de trois essieux. — Machines à grande vitesse à quatre essieux. — Machines à quatre essieux accouplés. — Machine à cinq essieux accouplés de la compagnie d'Orléans. — Machine à six essieux de la compagnie du Nord.

§ 3. — Machines à adhérence artificielle. — Ce n'est pas le défaut d'adhérence qui limite, en général, les rampes des tracés de chemins de fer. — Utilité que peut présenter, dans certains cas, un supplément d'adhérence. — Système Fell. — Chemin provisoire du mont Cenis.

§ 4. — Conclusions à tirer de l'étude de la locomotive au point de vue des tracés. — Limites des déclivités et des courbes à adopter dans les différents cas. — Exemples de lignes à fortes rampes.

§ 1er. — DÉTERMINATION DE LA CHARGE DES TRAINS

Connaissant, au moyen de l'étude qui précède, la résistance des trains et la puissance des machines, nous pouvons maintenant résoudre le problème le plus important de la traction, celui de la détermination de la charge des trains d'après leur vitesse et le tracé des lignes qu'ils ont à parcourir[1].

Considérons une section de chemin de fer en ligne droite, formée d'un palier de 10 kilomètres de longueur suivi d'une rampe de 5 millimètres par mètre sur une longueur égale ; proposons-nous d'y faire circuler un train express à la vitesse de 60 kilomètres à l'heure et voyons quelle pourra être la charge du train.

Supposons ce train remorqué par une machine à roues libres, d'une puissance de 400 chevaux, d'un poids de 30 tonnes et suivie d'un tender de 16 tonnes.

[1] Il est à peine besoin de faire remarquer que les calculs qui suivent sont approximatifs. Les formules employées sont, ainsi que nous l'avons vu, d'une exactitude relative et les résultats numériques obtenus pourraient varier sensiblement en se servant d'autres formules. Mais l'important est de pouvoir se rendre compte des conditions de l'emploi rationnel de la locomotive sur des lignes d'un profil donné, et c'est ce que ces calculs permettent de faire d'une manière très simple et suffisamment exacte.

La puissance de la machine correspond à un travail de 30000 kilogrammètres et la vitesse indiquée à 16,66 m. par seconde ; l'effort de traction qu'elle peut produire à cette vitesse est donc égal à $\frac{30000}{16,66}$, soit 1800 kg.

De cet effort il faut déduire les résistances passives dues au mécanisme de la machine, à raison de 8 kilogrammes par tonne de son poids, soit 30×8 . . . . . 240 kg.

Reste disponible. . . . . 1560 kg.

En divisant ce nombre par celui qui représente la résistance d'un train par tonne à la vitesse considérée, nous aurons le poids total du train en palier.

Remarquons à ce propos que la résistance d'un train ne peut s'évaluer, d'après les formules générales données précédemment, que lorsqu'on connaît son poids, puisque le terme en V^2 contient ce poids en dénominateur ; mais il est facile de voir qu'une erreur de quelques tonnes sur la valeur de P n'a pas d'influence notable sur la valeur de la résistance. Admettons donc, pour la résistance d'un train à la vitesse de 60 kilomètres, la valeur que nous avons trouvée dans les exemples numériques cités précédemment, soit 9,15 kg. par tonne.

Le poids total du train pourra donc s'élever à $\frac{1560}{9,15}$, soit	175	tonnes.
Et, comme le poids brut est égal à (Machine 30 tonnes, tender 16 tonnes).	46	—
Il en résulte que le poids utile remorqué sera de	129	—

Telle est la charge utile que pourra traîner la machine du type considéré à la vitesse de 60 kilomètres sur un palier continu.

Supposons maintenant que le train conserve la même vitesse en s'engageant sur la rampe de 5 millimètres. Sa résistance se trouvera augmentée de 5 kilogrammes par tonne et deviendra par suite égale à 14,15 kg. On aura donc pour le poids total du train :

$\frac{1560}{14,15}$, soit	110	tonnes.
Retranchant le poids brut.	46	—
Il reste pour le poids utile	64	—

C'est, comme on le voit, une diminution de près de moitié de la charge utile en palier. On serait donc obligé, si l'on voulait conserver la vitesse de 60 kilomètres sur la rampe, soit de rompre charge au pied de cette rampe, soit de diminuer le poids du train sur le palier, ce qui aurait pour conséquence de ne pas utiliser dans cette partie toute la puissance de la machine.

Ce serait une fort mauvaise manière d'opérer ; aussi n'est-ce pas ainsi que l'on procède. Conserver une vitesse uniforme de 60 kilomètres d'un bout à

l'autre de la section est une condition qui ne présente aucun intérêt : il est beaucoup plus important d'utiliser complètement la puissance de la machine et de réaliser d'une manière aussi approchée que possible la condition d'un travail constant dans toute la durée du parcours. Pour cela, il faut évidemment augmenter la vitesse sur le palier et la diminuer sur la rampe, en faisant varier d'une manière inverse l'effort de traction. On pourra ainsi augmenter la charge du train sur la rampe, et cette augmentation sera d'autant plus marquée que, d'une part, l'effort de traction disponible sera plus grand et que, d'autre part, la résistance du train sera plus petite, puisqu'elle croît avec la vitesse.

Admettons, par exemple, qu'on réduise la vitesse sur la rampe à 55 kilomètres. Pour avoir la même vitesse moyenne sur toute la longueur de la section, il faudra augmenter la vitesse en palier et lui donner la valeur x qui résulte de l'équation ci-dessous :

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{55} = \frac{2}{60},$$

d'où

$$x = 66 \text{ km.}$$

Voyons dans ces conditions qu'elle sera la charge possible sur le palier et sur la rampe.

CHARGE EN PALIER. (Vitesse 66 kilomètres à l'heure, soit 18,33 m. à la seconde.)

Effort de traction $\frac{30\,000}{18{,}33}$	1 636 kg.
Résistance passive de la machine	240 —
Reste disponible . . .	1 396 kg.

La résistance d'un train à la vitesse de 66 kilomètres est, d'après la formule de Harding, en prenant P = 1,20, de 10 kilogrammes par tonne.

Le poids du train sera donc $\frac{1\,396}{10}$, soit	139 tonnes
Poids brut	46 —
Charge utile en palier . . .	93 tonnes.

CHARGE EN RAMPE DE 5 MILLIMÈTRES. (Vitesse de 55 kilomètres à l'heure, soit 15,27 m. à la seconde.)

Effort de traction $\frac{30\,000}{15{,}27}$	1 965 kg.
Résistance passive de la machine	240 —
Reste disponible. . .	1 725 kg.

La résistance d'un train à la vitesse de 55 kilomètres est, d'après la formule de Harding, en prenant P = 100, de 8,80 kg. par tonne ; ajoutant 5 kilogrammes pour la rampe, on a en tout 13,80 kg. par tonne

Le poids du train est donc $\frac{1\,725}{13,80}$, soit.	126 tonnes
Poids mort	46 —
Charge utile en rampe. . .	80 tonnes.

La modification des vitesses a donc conduit à une augmentation notable de la charge utile sur la rampe. Si on adoptait cette charge sur toute la section, le travail de la machine ne serait pas encore constant dans toute la durée du parcours, mais il serait déjà mieux utilisé que précédemment.

Pour arriver à l'utiliser complètement, c'est-à-dire à égaliser les charges en rampe et en palier, il suffit d'augmenter encore l'écart entre les vitesses. En opérant par tâtonnement, on trouve que cette égalité est réalisée en adoptant sur la rampe une vitesse de 53,5 kg. correspondant à 68 kilomètres sur le palier.

Le calcul des charges est le suivant :

CHARGE EN PALIER. (Vitesse 68 kilomètres à l'heure, soit 18,88 m. à la seconde.)

Effort de traction $\frac{30\,000}{18,88}$	1 590 kg.
Résistance passive de la machine	240 —
Reste disponible. . .	1 350 kg.

Résistance d'un train à la vitesse de 68 kilomètres à l'heure (formule de Harding) 10,20 kg. par tonne.

Poids total du train $\frac{1\,350}{10,20}$, soit.	132 tonnes.
Poids mort	46 —
Charge utile en palier . . .	86 tonnes.

CHARGE EN RAMPE DE 5 MILLIMÈTRES. (Vitesse de 53,5 km. à l'heure, soit 14,83 m. à la seconde.)

Effort de traction $\frac{30\,000}{14,83}$	2 020 kg.
Résistance passive de la machine	540 —
Reste disponible. . .	1 780 kg.

Résistance d'un train à la vitesse de 53,5 kg. à l'heure (formule de Harding

8,45 kg. par tonne, à quoi il faut ajouter 5 kilogrammes pour la rampe, soit 13,45 kg. par tonne.

Poids total du train $\frac{1\,780}{13{,}45}$, soit	132 tonnes.
Poids mort	46 —
Charge utile en rampe. . .	86 tonnes.

Ainsi, la charge utile sera réglée à 86 tonnes en rampe comme en palier ; le travail de la machine sera constant d'un bout à l'autre de la section et la vitesse moyenne sera de 60 kilomètres.

On voit qu'en somme la présence d'une rampe de 5 millimètres sur la section considérée a eu pour effet de réduire à 86 tonnes la charge utile, qui était de 129 tonnes en palier. Or, si la section, au lieu d'être formée d'un palier suivi d'une rampe de 5 millimètres, avait été disposée suivant une rampe continue de 2,5 mm. la charge utile remorquée à la vitesse constante de 60 kilomètres aurait été de 87 tonnes, d'après le calcul suivant :

Effort de traction.	1 800 kg.
Résistance passive de la machine	240 —
Reste.	1 560 kg.

Résistance du train à la vitesse de 60 kilomètres sur une rampe de 2,5 mm : 9,15 kg. + 2,5 kg., soit 11,65 kg. par tonne.

Poids total du train $\frac{1\,560}{11{,}65}$, soit	133 tonnes.
Poids mort	46 —
Charge utile . . .	87 tonnes.

Donc la charge utile que peut remorquer la machine sur la section considérée à la vitesse moyenne de 60 kilomètres est, à très peu près, la même que celle qu'elle remorquerait, à la vitesse uniforme de 60 kilomètres, si, d'une extrémité à l'autre de la section, le tracé présentait une rampe continue de 2,5 mm. nécessaire pour franchir la différence de niveau qui sépare ses deux extrémités.

Comme les écarts de vitesse que nous avons supposés se réalisent très facilement avec les machines locomotives, on doit conclure de ce qui précède que, pour les trains de vitesse, la présence des rampes de 5 millimètres est sans inconvénient au point de vue de la traction et qu'il n'y a d'autre intérêt à les réduire que d'obtenir une plus grande uniformité dans la vitesse, avantage qui n'a pas d'importance dans la pratique.

Si, au lieu d'une rampe de 5 millimètres, le tracé en comportait une de 8 ou 10, on ne pourrait arriver à égaliser les charges en palier et en rampe qu'en augmentant encore l'écart des vitesses ; l'effort de traction à demander

à la machine sur la rampe irait donc également en augmentant. Cet effort, qui était de 1800 kilogrammes à 60 kilomètres, de 1965 à 55 kilomètres, qui, à 53,5 km. atteignait déjà la limite de 2000 kilogrammes imposée par l'adhérence dans les conditions ordinaires, arriverait très vite à dépasser cette limite. La machine à roues libres ne pourrait plus remorquer le train sur la rampe et il faudrait, pour augmenter l'effort de traction, recourir à l'accouplement, c'est-à-dire employer une machine du deuxième type.

Nous devons conclure de ce qui précède que, pour les trains de vitesse, la présence sur un tracé d'une rampe de 8 à 10 millimètres constitue un sérieux obstacle à la charge des trains et à la rapidité de leur marche. Ces rampes ne peuvent généralement être franchies qu'en accouplant deux essieux de la machine et en imposant aux trains un notable ralentissement ; pour que ce ralentissement puisse être compensé par une accélération sur les parties en palier, de manière à conserver la vitesse moyenne nécessaire aux trains rapides, il faut nécessairement que ces rampes soient exceptionnelles et qu'elles n'occupent qu'une faible longueur dans le tracé.

On voit d'ailleurs, sans qu'il soit nécessaire de faire le calcul en détail, qu'en employant pour remorquer un train express sur ces déclivités exceptionnelles la machine à deux essieux couplés, on aura une marge notable pour augmenter la charge du train, puisque le maximum de l'effort de traction est de 3 535 kilogrammes, correspondant à une vitesse minima de 36 kilomètres.

Supposons maintenant qu'on ait un train de marchandises à faire circuler sur la section de ligne précédemment considérée. Faisons-le remorquer par la machine à 3 essieux accouplés, du poids de 34 tonnes, de la force de 450 chevaux, accompagnée d'un tender de 16 tonnes ; adoptons la vitesse de 25 kilomètres à l'heure (6,94 m. par seconde).

La formule des ingénieurs de l'Est

$$R = 1{,}65 + 0{,}05\ V,$$

dans laquelle on prend

$$V = 25,$$

donne

$$R = 2{,}90\ \text{kg}.$$

Dès lors, le calcul s'établit comme il suit :

Effort de traction $\frac{33\,750}{6{,}94}$	4 863 kg.
Résistance passive de la machine : 34×12	408 —
Reste disponible . . .	4 455 kg.

Poids du train en palier $\frac{4\,455}{2{,}90}$, soit	1 536 tonnes.
Poids mort 34 + 16	50 —
Charge utile en palier	1 486 tonnes.
Poids du train en rampe à la vitesse de 25 kilomètres, $\frac{4\,455}{2{,}90 + 5}$, soit	563 tonnes.
Poids mort	50 —
Charge utile en rampe	513 tonnes.

La diminution, on le voit, est énorme et proportionnellement bien plus considérable que pour les trains de voyageurs. Pour l'atténuer, on emploie le moyen déjà indiqué : on accélère la marche sur le palier et on la ralentit sur la rampe.

Supposons qu'on porte la vitesse en palier à 36 kilomètres. La vitesse correspondante en rampe, x, sera donnée par l'équation :

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{36} = \frac{2}{25},$$

d'où

$$x = 19 \text{ km.}$$

Dès lors, le calcul des charges s'établit comme il suit :

CHARGE EN PALIER. (Vitesse 36 kilomètres à l'heure, soit 10 mètres à la seconde.)

Effort de traction $\frac{33\,750}{10}$	3 375 kg.
Résistance passive de la machine	408 —
Reste disponible	2 967 kg.

Résistance du train à la vitesse de 36 kilomètres : 3,45 kg. par tonne.

Poids du train $\frac{2\,967}{3{,}45}$, soit	857 tonnes.
Poids mort	50 —
Charge utile en palier	807 tonnes.

CHARGE EN RAMPE DE 5 MILLIMÈTRES. (Vitesse 19 kilomètres à l'heure, soit 5,27 m. à la seconde.)

Effort de traction $\frac{33\,750}{5{,}27}$	6 400 kg.

Comme cet effort dépasse notablement la limite imposée par l'adhérence dans les conditions habituelles de température, il convient de le réduire au

chiffre de 5670 kilogrammes, qui correspond à une adhérence calculée au 1/6. On aura donc :

Effort de traction	5 670 kg.
Résistance passive	408 —
Reste disponible . . .	5 262 kg.

Résistance du train à la vitesse de 19 kilomètres. 2,60 kg ; résistance due à la rampe, 5 kilogrammes ; en tout 7,60 kg. par tonne.

Poids du train $\frac{5\,262}{7,60}$, soit	692 tonnes.
Poids mort	50 —
Charge utile en rampe . . .	642 tonnes.

On ne réalise donc pas, dans ces conditions, l'égalité des charges, mais on augmente d'une manière très notable la charge sur la rampe.

Il n'est pas possible de faire plus avec le type de machine considéré, puisque la vitesse de 19 à 20 kilomètres est celle au-dessous de laquelle on ne doit pas descendre, si l'on veut utiliser toute la puissance de la machine.

On réglera donc la charge utile du train à 642 tonnes sur la rampe comme sur le palier ; son poids total sera alors de 692 tonnes.

L'effort de traction de la machine sera de 2 795 kilogrammes en palier et de 5670 kilogrammes en rampe ; son travail sera de 27 950 kilogrammètres dans le premier cas et de 29 880 kilogrammètres dans le second.

Si la section considérée présentait une rampe uniforme de 2,5 mm. d'une extrémité à l'autre, la charge utile que la machine pourrait y remorquer, à la vitesse constante de 25 kilomètres, serait de 775 tonnes, d'après le calcul suivant :

Effort de traction à la vitesse de 25 km. : $\frac{33\,750}{6.94}$	4 863 kg.
Résistance passive	408 —
Reste disponible	4 455 kg.

Résistance du train à la vitesse de 25 kilomètres sur une rampe de 2,5 mm. : 2,90 + 2,5, soit 5,40 kg. par tonne.

Poids du train $\frac{4\,455}{5,4}$, soit	825 tonnes.
Poids mort	50 —
Charge utile. . .	775 tonnes.

On voit que la présence de la rampe de 5 millimètres sur le tracé conduit à une diminution de la charge utile de 133 tonnes environ ; c'est admissible sur un chiffre de 775 tonnes.

Mais si la déclivité augmente au-dessus de 5 millimètres, son influence

se fait sentir d'une manière beaucoup plus notable sur la charge du train. En effet, la vitesse sur la rampe ne pouvant guère descendre au-dessous de 19 kilomètres et l'effort de traction disponible étant limité à 5 262 kilogrammes, il faut nécessairement que la diminution de la charge compense l'augmentation de résistance qui résulte de la déclivité.

Ainsi, sur une rampe de 10 millimètres, la charge utile ne serait plus que de $\frac{5\,262}{12,60} - 50$, soit. . . . . 367 tonnes.

Pour 20 millimètres, elle serait de $\frac{5\,262}{22,60} - 50$, soit . . . 183 —

A 30 millimètres, elle se réduirait à $\frac{5\,262}{32,60} - 50$, soit . . 114 —

Ainsi, une locomotive à trois essieux accouplés du poids de 50 tonnes (y compris son tender), qui peut remorquer une charge utile de 640 tonnes sur une ligne dont les déclivités ne dépassent pas 5 millimètres par mètre ne peut plus traîner que 360 tonnes environ sur des rampes de 10 millimètres, 180 tonnes sur des rampes de 20 millimètres et 110 tonnes sur des rampes de 30 millimètres.

La diminution de l'effet utile de la locomotive est donc considérable quand les déclivités augmentent, et on peut tirer de ce qui précède les conclusions suivantes.

D'une manière générale, pour les trains de marchandises comme pour les trains de voyageurs, la présence de rampes de 5 millimètres sur les tracés de chemin de fer est sans inconvénient sensible au point de vue de la traction. Quand, sur un tracé qui comporte d'une manière générale des rampes de 5 millimètres, il se rencontre exceptionnellement une rampe de 8 à 10 millimètres, elle peut être franchie sans diminution de charge par les trains de voyageurs, en employant une machine à deux essieux accouplés et en imposant au train un certain ralentissement sur la rampe, ralentissement qui peut être compensé facilement par une augmentation de vitesse sur les parties en palier. Pour les trains de marchandises, au contraire, supposés remorqués au moyen de machines à trois essieux accouplés, la présence de cette rampe exceptionnelle exige nécessairement, soit une diminution de charge, soit l'emploi d'une machine de renfort.

Quand les rampes supérieures à 5 millimètres, au lieu de se rencontrer exceptionnellement sur un tracé, y deviennent fréquentes, l'emploi de machines à deux essieux accouplés permet d'assurer la traction des trains de voyageurs; quant à celle des trains de marchandises, si on les suppose toujours remorqués par des machines à trois essieux accouplés, elle ne peut se faire qu'en acceptant, soit l'emploi de la double traction, soit une diminution de la charge utile, qui est de 45 à 50 p. 100 sur des rampes de 10 millimètres, de 70 à 75 p. 100 sur des rampes de 20 millimètres, et de plus de 80 p. 100

sur des rampes de 30 millimètres, où la machine ne remorque plus qu'un poids un peu supérieur au double du poids mort (machine et tender).

Le mode de calcul que nous venons d'exposer n'est pas celui qu'on emploie dans les services de traction des différents réseaux de chemins de fer. En pratique, il existe, dans chaque gare de formation des trains, un *tableau des charges* qui peuvent être remorquées sur les différentes rampes du réseau par les diverses locomotives employées, suivant les vitesses des trains. C'est de ce tableau qu'on se sert pour déterminer le nombre des véhicules à introduire dans chaque train.

Quant aux charges remorquées, elles sont elles-mêmes calculées par différents moyens, suivant les réseaux. Voici, à titre de renseignement, comment on les établit sur le réseau de l'État [1].

Méthode du réseau de l'État. — Pour déterminer les charges que peut remorquer une locomotive donnée, à diverses vitesses, sur une section de ligne donnée, il faut connaître :

D'une part, l'effort de traction que la locomotive peut développer aux diverses vitesses ;

D'autre part, la résistance propre de la locomotive (tender compris) et du train à ces mêmes vitesses, résistance à laquelle vient s'ajouter celle qui est due à la déclivité et aux courbes.

1° *Effort de traction.* — L'effort de traction ne peut en aucun cas, ainsi que nous l'avons vu, dépasser l'*adhérence*, donnée par la formule

$$A = \varpi f,$$

f étant le coefficient d'adhérence ou de frottement de fer sur fer et ϖ le poids adhérent.

Cet effort de traction dépend, d'autre part, des données suivant lesquelles sont établis le *mécanisme* et la *chaudière* de la machine.

Si l'on envisage le mécanisme, on sait que cet effort est donné par la formule

$$E_1 = \frac{Kpd^2l}{D},$$

dans laquelle K est un coefficient dont la valeur (qui peut, ainsi que nous l'avons vu, atteindre 0,85 aux très faibles vitesses) diminue quand la vitesse augmente.

Si on considère la chaudière, dont la production de vapeur est forcément limitée, il est évident que l'effort de traction que la machine pourra soutenir

[1] Renseignement fourni par M. Boell, ingénieur en chef du matériel et de la traction de ce réseau.

pendant un certain temps sera limité par la quantité de vapeur que la chaudière pourra fournir pendant ce même temps.

Si nous appelons q[1] la quantité de vapeur que celle-ci peut produire, par heure, en régime soutenu, et q' la quantité de vapeur que la machine consomme par cheval indiqué et par heure, la puissance en chevaux-vapeur que la machine pourra développer d'une manière soutenue sera égale à $\frac{q}{q'}$.

Si l'on désigne par E_2 l'effort de traction développé par la machine, et

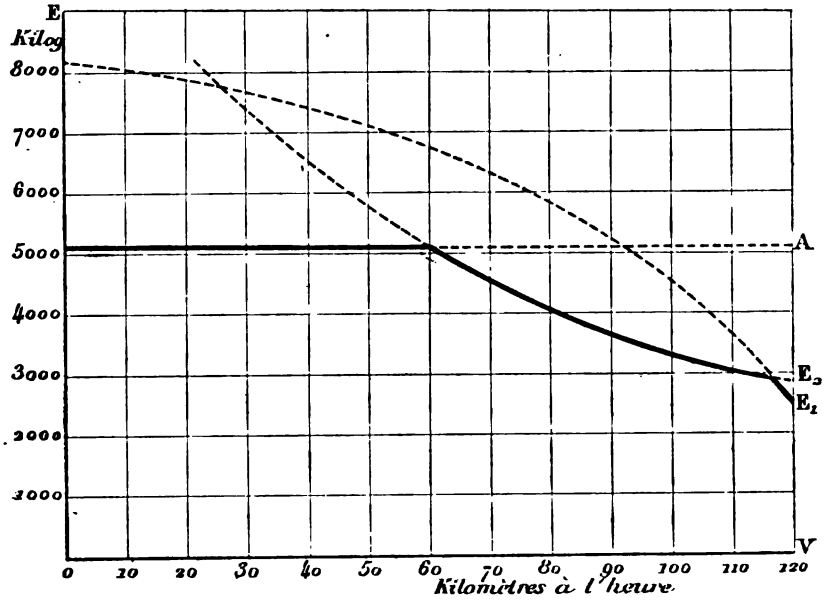


Fig. 559.

par v sa vitesse de translation en mètres par seconde, la force en chevaux correspondante sera $\frac{E_2 v}{75}$.

Donc

$$\frac{q}{q'} = E_2 \frac{v}{75},$$

ou, en remplaçant v par sa valeur $\frac{V}{3,6}$, V étant la vitesse en kilomètres par heure :

$$\frac{q}{q'} = E_2 \frac{V}{270};$$

[1] Nous avons déjà fait connaître que, d'après les expériences de M. Nadal, cette quantité q peut être calculée avec une assez grande exactitude par la formule

$$q = 1\,000 \sqrt{g \left(c_d + \frac{c_i}{6}\right)},$$

dans laquelle g est la surface de grille, c_d la surface de chauffe directe et c_i la surface de chauffe indirecte, exprimées en mètres carrés.

d'où :

$$E_2 = \frac{270}{V} \frac{q}{q'}.$$ [1]

Si, pour une machine considérée on représente graphiquement la valeur de l'adhérence A et les variations des valeurs E_1 et E_2 en fonction de la vitesse V, on obtient le diagramme (fig. 559), qui constitue ce qu'on appelle les *courbes caractéristiques* de la machine, et permet de déterminer la valeur de l'effort de traction E que la machine peut développer pour une vitesse V.

Jusqu'à une certaine vitesse, l'effort de traction sera donné par l'adhérence A ; ensuite il sera limité par la puissance de vaporisation de la chaudière (courbe E_2); enfin, aux très grandes vitesses, il sera, en général, limité par les dimensions du mécanisme (courbe E_1).

2° *Résistance propre des locomotives et des véhicules.* — Cette résistance se calcule par les formules de M. Barbier, que nous avons données précédemment.

3° *Calcul des charges aux différentes vitesses.* — L'emploi de ces formules, joint à la connaissance des courbes caractéristiques d'une machine, permet de calculer le tonnage qu'elle est susceptible de remorquer aux différentes vitesses sur une ligne donnée.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'une machine 2 950 État, compound à 4 cylindres, type Atlantic. Son poids adhérent étant de 35 600 kilogrammes, son adhérence A sera de 5 085 kilogrammes (soit en chiffres ronds 5 100 kg.) en admettant 1/7 pour le coefficient d'adhérence. Son poids en ordre de marche, y compris le tender, est de 118 tonnes.

Supposons qu'elle doive remorquer du matériel à grand empattement, sur une ligne présentant, comme plus forte déclivité, une rampe assez longue de 10 millimètres par mètre. C'est cette rampe qui limitera la charge sur la section considérée.

On ne pourra, évidemment, atteindre sur cette rampe, toutes choses égales d'ailleurs, la même vitesse que sur les parties plus faciles de la section. Nous admettrons, par exemple, que les trains tracés sur l'ensemble de la section à la vitesse de 40 kilomètres remonteront la rampe à 30 kilomètres seulement, et que ceux tracés respectivement à 50, 60, 70, 80, 90 kilomètres ne la remonteront qu'à 35, 45, 50, 60, 70.

Le calcul des charges pourra s'effectuer de la manière suivante :

[1] q et q' étant sensiblement constants pour une même locomotive, on voit que la relation entre E_2 et V est approximativement l'équation d'une hyperbole équilatère.

VITESSES		EFFORT moteur maximum (déduit des courbes caractéristiques de la machine).	RÉSISTANCE		EFFORT disponible pour la traction du train [3].	RÉSISTANCE par tonne du train remorqué [4].	TONNAGE susceptible d'être remorqué [5].
nominales.	réelles sur la rampe de 10 mm.		par tonne de la machine et du tender [1].	totale de la machine et du tender [2].			
1	2	3	4	5	6	7	8
km.	km.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	t.
40	30	5 100	15,62	1 843	3 257	12,4	262
70	50	5 100	17,6	2 077	3 023	13,25	228
90	70	4 750	20,3	2 395	2 355	14,3	164

[1] Déduite de la formule $4 + 0{,}9\ V \frac{V + 30}{1\,000} + 10$, 10 représentant la résistance due à la rampe.
[2] Chiffre précédent, multiplié par 118, poids de la machine et du tender.
[3] Différence entre les chiffres des colonnes 3 et 5.
[4] Déduite de la formule $1{,}5 + 0{,}25\ V \frac{V + 85}{1\,000} + 10$, 10 représentant la résistance due à la rampe.
[5] Quotient des chiffres des colonnes 6 et 7.

C'est au moyen des chiffres ainsi obtenus qu'on établit les tableaux donnant les charges normales des machines, c'est-à-dire le poids que chacune d'elles peut remorquer, suivant la vitesse de marche des trains sur les différentes sections, où elle est appelée à circuler. Ces tableaux indiquent en outre pour chaque section, sous la désignation *limite des attelages*, la charge qui ne peut être dépassée sans compromettre la sécurité.

En cas de double traction, la charge d'un train peut être portée au total des charges des deux machines, sans toutefois dépasser le chiffre prévu pour la limite des attelages.

Méthode de la compagnie d'Orléans. — Sur le réseau d'Orléans, la méthode employée est différente suivant qu'il s'agit des machines à simple expansion, construites avant 1898, ou des machines compound utilisées depuis 1898 sur ce réseau.

En ce qui concerne les premières, la méthode employée se trouve exposée dans une voie datant de 1890, reproduite ci-dessous, et qu'a bien voulu nous communiquer M. Polonceau, alors ingénieur en chef du matériel et de la traction de cette compagnie.

Méthode employée pour calculer la charge d'une locomotive P. O. à une vitesse donnée, dans une rampe déterminée. (Tous ces calculs ont été établis pour les conditions spéciales des locomotives et du matériel roulant de la compagnies d'Orléans.)

Connaissant la surface de chauffe totale S^{m2} et la surface de grille G^{m2}, on calcule la quantité d'eau vaporisée et entraînée par heure au moyen de la formule

$$Q = 560\sqrt{GS} \text{ (en kg.)}.$$

On trouve ensuite l'admission de vapeur A p. 100 correspondant à la vitesse V considérée, par la formule

$$A = \frac{QD}{1{,}2\, d^2\, C\delta V}$$

D, diamètre des roues motrices, en mètres ;
d, diamètre des cylindres, en mètres ;
C, course des pistons, en mètres ;
δ, densité de vapeur à la pression du timbre en kilogrammes (d'après Zeuner) ;
V, vitesse à l'heure, en mètres.

Timbre.	Valeur de δ.	Timbre.	Valeur de δ.
8 kg.	4,144	11 kg.	5,591
8,5 —	4,387	12 —	6,060
9 —	4,630	13 —	6,536
10 —	5,144		

L'effort moteur de traction qui ressort de l'admission A s'obtient en multipliant l'effort moyen théorique à pleine admission

$$\frac{d^2\,Cm}{D}$$

par un coefficient α, dépendant pour chaque admission de la pression du timbre et de la vitesse de rotation des roues motrices ; *f* étant l'effort moteur de traction en kilogrammes, l'on a :

$$f = \frac{d^2C}{D}\,m\alpha.$$

d — diamètre des cylindres, en centimètres ;
C — course des pistons, en mètres ;
D — diamètre des roues motrices, en mètres ;
m — pression du timbre en kilogrammes.

Nous donnons ci-après les valeurs de α déduites d'expériences à l'Indicateur faites sur les principaux types des locomotives P. O.

VITESSE DE ROTATION Nombre de tours des roues motrices par seconde.	ADMISSION 15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
1° Valeur de α à la pression de 8 kilogrammes.										
3/4 tours . .	0,303	0,379	0,448	0,510	0,567	0,6195	0,667	0,7115	0,749	0,785
1 tours . . .	0,302	0,378	0,447	0,509	0,566	0,618	0,665	0,709	0,746	0,781
1 1/4	0,301	0,3775	0,4465	0,5085	0,565	0,6165	0,663	0,7065	0,743	0,777
1 1/2	0,3005	0,3765	0,4455	0,5075	0,564	0,615	0,661	0,704	0,7395	0,773
1 3/4	0,300	0,376	0,445	0,507	0,563	0,6135	0,659	0,7015	0,736	0,769
2 tours. . . .	0,299	0,375	0,444	0,506	0,562	0,612	0,657	0,699	0,733	0,765
2 1/4	0,297	0,373	0,442	0,504	0,5597	0,6093	0,6538	0,6952	0,7285	0,759
2 1/2	0,295	0,371	0,440	0,502	0,5575	0,6065	0,6505	0,6915	0,724	0,753
2 3/4	0,293	0,369	0,438	0,500	0,5552	0,6038	0,6472	0,6878	0,7195	0,747
3 tours . . .	0,291	0,367	0,436	0,498	0,553	0,601	0,644	0,684	0,715	0,741
2° Valeur de α à la pression de 8 kg. 1/2.										
3/4 tour . . .	0,308	0,384	0,453	0,515	0,572	0,624	0,6703	0,714	0,7525	0,788
1 tour. . . .	0,307	0,383	0,452	0,514	0,571	0,623	0,669	0,712	0,750	0,784
1 1/4	0,3063	0,3823	0,4513	0,5133	0,570	0,622	0,667	0,7095	0,7468	0,780
1 1/2	0,3055	0,3815	0,4505	0,5125	0,569	0,6207	0,665	0,707	0,7435	0,776
1 3/4	0,3048	0,3808	0,4498	0,5118	0,568	0,619	0,663	0,7045	0,7403	0,772
2 tours . . .	0,304	0,380	0,449	0,511	0,567	0,617	0,661	0,702	0,737	0,768
2 1/4	0,302	0,378	0,447	0,509	0,5648	0,6143	0,6578	0,6983	0,7325	0,7628
2 1/2	0,300	0,376	0,445	0,507	0,5625	0,6115	0,6545	0,6945	0,728	0,7475
2 3/4	0,298	0,374	0,443	0,505	0,5603	0,6088	0,6513	0,6908	0,7235	0,7423
3 tours . . .	0,296	0,372	0,441	0,503	0,558	0,606	0,648	0,687	0,719	0,747
3° Valeur de α à la pression de 9 kilogrammes.										
3/4 tour . . .	0,3125	0,3884	0,4573	0,5193	0,5767	0,629	0,6745	0,717	0,755	0,7903
1 tour. . . .	0,312	0,388	0,457	0,519	0,576	0,628	0,673	0,715	0,753	0,787
1 1/4	0,3113	0,3873	0,4563	0,5183	0,575	0,6265	0,671	0,7125	0,7498	0,783
1 1/2	0,3105	0,3865	0,4555	0,5175	0,574	0,625	0,669	0,710	0,7465	0,779
1 3/4	0,3098	0,3858	0,4548	0,5168	0,573	0,6235	0,667	0,7075	0,7433	0,775
2 tours . . .	0,309	0,385	0,454	0,516	0,572	0,622	0,665	0,705	0,740	0,7718
2 1/4	0,307	0,383	0,452	0,514	0,5698	0,6193	0,6618	0,7013	0,7355	0,7658
2 1/2	0,305	0,381	0,450	0,512	0,5675	0,6165	0,6585	0,6975	0,731	0,7605
2 3/4	0,303	0,379	0,448	0,510	0,5643	0,6138	0,6553	0,6938	0,7265	0,7553
3 tours . . .	0,301	0,377	0,446	0,508	0,563	0,611	0,652	0,690	0,722	0,750
4° Valeur de α à la pression de 10 kilogrammes.										
3/4 tour. . .	0,3203	0,3963	0,4653	0,5274	0,585	0,636	0,681	0,7212	0,7957	0,793
1 tour. . . .	0,320	0,396	0,465	0,527	0,584	0,635	0,679	0,719	0,757	0,790
1 1/4	0,3193	0,3953	0,4643	0,5263	0,583	0,6335	0,677	0,7165	0,7538	0,7863
1 1/2	0,3185	0,3945	0,4635	0,5255	0,582	0,632	0,675	0,714	0,7505	0,7825
1 3/4	0,3178	0,3938	0,4628	0,5248	0,581	0,6305	0,673	0,7115	0,7473	0,7788
2 tours . . .	0,317	0,393	0,462	0,524	0,580	0,629	0,671	0,709	0,744	0,775
2 1/4	0,315	0,391	0,460	0,522	0,5778	0,6263	0,6678	0,7053	0,7395	0,7695
2 1/2	0,313	0,389	0,458	0,520	0,5755	0,6235	0,6645	0,7015	0,735	0,764
2 3/4	0,311	0,387	0,456	0,518	0,5735	0,6208	0,6613	0,6978	0,7305	0,7585
3 tours . . .	0,309	0,385	0,454	0,516	0,571	0,618	0,658	0,694	0,726	0,753

L'effort moteur de traction que l'on veut obtenir doit faire équilibre à la somme des résistances dues aux véhicules du train, au tender et à la locomotive ; on pourra donc poser :

$$(C + R)(P + T + L) + \pi L = f$$

$\mathcal{C}$ — résistance au roulement par tonne sur niveau;
R — résistance due à l'inclinaison de la rampe (1 kilogramme par millimètre d'inclinaison);
P — poids du train en tonnes;
T — poids du tender en tonnes;
L — poids de la locomotive en tonnes;
π — résistance par tonne due au frottement de la locomotive.

La valeur $\mathcal{C}$ est donnée par la formule :

$$\mathcal{C} = 1{,}5 + \frac{V^2}{1\,100} + \frac{1\,000\,NV}{r^2}.$$

V — vitesse en kilomètres par heure;
N — nombre de véhicules du train;
r — rayon de la courbe en mètres.
Les résistances du mécanisme sous vapeur sont comptées à :

$\pi = 12$ kg. par tonne de locomotive à 4 roues libres;
15 — à 4 roues accouplées;
18 — à 6 roues accouplées;
20 — à 8 et 10 roues accouplées.

D'après ce qui précède, il sera facile de calculer la charge dite « de production » du train considéré :

$$P = \frac{f - \pi L}{\mathcal{C} + R} - (T + L).$$

Mais la charge P ne pourra être atteinte qu'à la condition que l'effort tangentiel à la circonférence des roues motrices ($f - \pi$ L) soit inférieur à l'adhérence

$$1\,000\,p'\,\alpha'.$$

p' — poids adhérent de la locomotive, en tonnes;
α' — coefficient d'adhérence.
Il faut que P satisfasse à la condition :

$$P \leqslant \frac{1\,000\,p'\,\alpha'}{\mathcal{C} + R} - (T + L),$$

et pour

$$\alpha' = 1/7,$$

la condition devient :

$$P \leqslant \frac{143\,p'}{\mathcal{C} + R} - (T + L).$$

Paris, le 20 *mars* 1890.

L'Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction,
E. POLONCEAU.

En ce qui concerne les locomotives compound, la compagnie d'Orléans emploie maintenant une méthode graphique fondée, comme celle du réseau de l'État, sur la considération des valeurs : 1° de l'adhérence; 2° de l'effort de traction en fonction des cylindres; 3° de l'effort de traction correspondant à la capacité de vaporisation de la chaudière. (Renseignement fourni par M. Solacroup, ingénieur en chef du matériel et de la traction.)

§ 2. — MACHINES A PLUS DE TROIS ESSIEUX

Nous avons surtout considéré dans ce qui précède les machines à 3 essieux, qui sont de beaucoup les plus répandues et forment pour ainsi dire l'outillage courant des chemins de fer au point de vue de la traction. Ce ne sont pas cependant les seules qu'on emploie. Il existe des machines à 4, 5 et même 6 essieux.

En premier lieu, en raison des charges toujours croissantes des trains express, on a été conduit à remplacer les machines mixtes ordinaires par

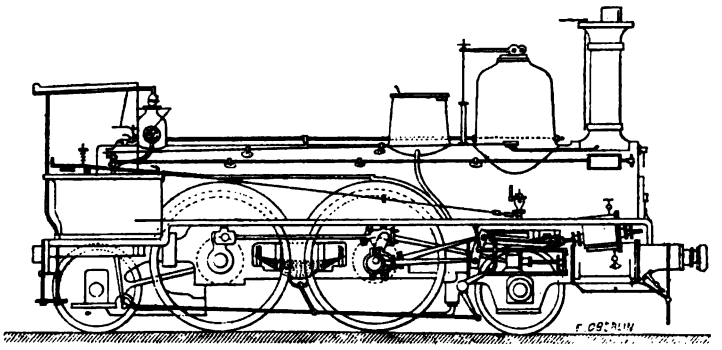


Fig. 560. — Locomotive à voyageurs à 2 essieux accouplés. (Compagnie d'Orléans.)

d'autres, d'un poids adhérent plus considérable réparti sur deux essieux; en même temps plusieurs réseaux, comme l'Orléans, le P.-L.-M. et l'État ont, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, adapté à leurs machines à grande vitesse un quatrième essieu placé à l'arrière sous le foyer, de manière à réduire autant que possible le porte-à-faux et à augmenter par suite la stabilité de la machine. Ces locomotives, représentées sommairement par la figure 560, ne sont en somme qu'une variété des machines mixtes, auxquelles on a adjoint un essieu porteur à l'arrière. Mais elles sont beaucoup plus puissantes et plus lourdes que les machines mixtes ordinaires. D'après M. Leroy, les machines à grande vitesse de ce type créées par la compagnie P.-L.-M. (nos 111 à 400) traînent à la vitesse de 50 kilomètres à l'heure des trains directs de 210 tonnes, et à 70 kilomètres des trains rapides de 121 tonnes sur des lignes à rampes de 5 millimètres; elles pèsent 50 500 kilogrammes en charge.

On doit également considérer comme une variété des machines mixtes à 3 essieux les locomotives pour trains express avec bogie à l'avant, employées d'abord par la compagnie du Nord et qui ont été adoptées plus récemment par les autres réseaux; bien qu'ayant en réalité 4 essieux, ces

machines rentrent dans la catégorie des machines mixtes, les 2 essieux du bogie remplaçant l'essieu porteur d'avant.

Indépendamment de ces machines, plus particulièrement destinées aux trains de voyageurs, on emploie également des machines à 4 essieux accouplés (fig. 561) qui permettent d'éviter dans certains cas la double traction et qui suffisent, en général, pour remorquer de lourdes charges sur les lignes à fortes rampes.

On comprend, en effet, qu'à mesure que les lignes secondaires se sont développées sur le réseau français, les rampes de 10 et 12 millimètres, autrefois exceptionnelles, sont devenues d'un usage fréquent dans les tracés et que, dès lors, par suite des nécessités de l'exploitation, on a été conduit à

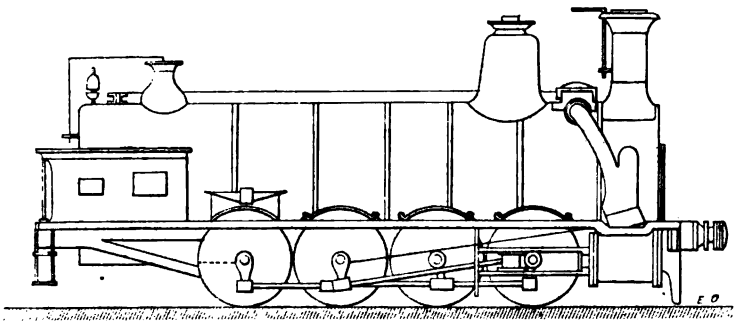


Fig. 561. — Machine de rampes. (Compagnie P.-L.-M.)

faire circuler sur ces lignes des trains dont le poids dépassait la charge normale des machines à 3 essieux accouplés. Avant l'invention des machines dont nous parlons maintenant, il n'y avait pas d'autre moyen d'assurer le service de ces trains que d'y atteler deux machines au lieu d'une, c'est-à-dire de les remorquer en double traction.

Mais l'emploi de la double traction, qui double la dépense, ne double pas toujours la charge utile remorquée. Deux locomotives attelées l'une à l'autre ne produisent pas deux fois le travail utile d'une seule, parce que leur action, n'est pas, en général, assez concordante pour qu'on puisse additionner, au point de vue du résultat, les efforts de traction qu'elles produiraient séparément. Il faudrait, pour qu'il en fût ainsi, qu'il y eût entre les deux mécaniciens une entente parfaite qui n'est pas, sans doute, impossible à réaliser, mais qui est fort difficile à obtenir. En fait, la seconde machine n'ajoute guère que 2/3 environ au travail de la première. Il était naturel, dès lors, de chercher à réaliser la traction des trains dont il s'agit au moyen de machines plus puissantes, ayant un plus grand poids adhérent et c'est ce qui a donné naissance au type des machines à 4 essieux, aujourd'hui couramment employées pour l'exploitation des lignes à fortes rampes.

Ces machines ont de 180 à 200 mètres cubes de surface de chauffe; leur poids adhérent, qui n'est autre que leur poids total, est de 45 à 50 tonnes; leur effort de traction maximum, déduit du poids adhérent et conforme à peu près à celui qui résulte des dimensions du mécanisme, est de 7 000 à 7 500 kilogrammes. Leur travail est, par conséquent, bien plus considérable que celui des machines à 3 essieux. Celle que représente la figure 561 est employée sur les parties du réseau P.-L.-M. dont les rampes atteignent 25 à 30 millimètres; elle peut remorquer sur ces rampes des trains de marchandises de 157 tonnes à la vitesse de 15 kilomètres et des trains de voyageurs de 85 tonnes à la vitesse de 30 kilomètres; elle pèse en charge 51 700 kilogrammes [1].

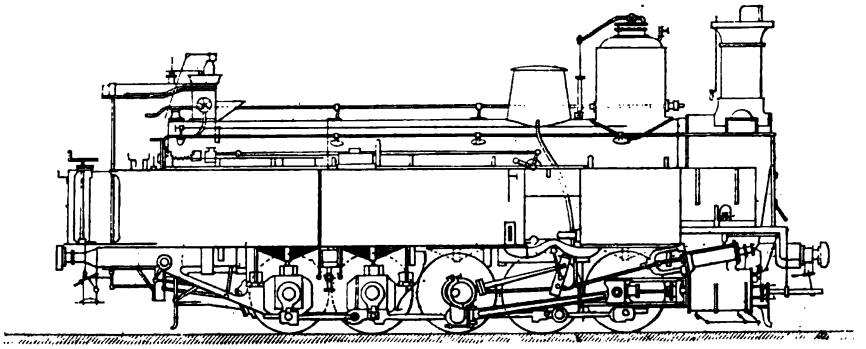


Fig. 562. — Locomotive-tender à 10 roues accouplées. (Compagnie d'Orléans.)

Les machines à 4 essieux accouplés suffisent généralement pour les besoins de l'exploitation. Pourtant on a été amené, dans certains cas, à en construire d'autres, d'un poids adhérent encore plus considérable. A mesure que les chemins de fer se sont développés et qu'ils ont pénétré dans des régions de plus en plus accidentées, l'emploi des fortes pentes, combinées quelquefois avec des courbes de faible rayon, s'est trouvé commandé par les difficultés spéciales du tracé; c'est pour l'exploitation de ces lignes exceptionnellement difficiles qu'ont été établies les locomotives à plus de 4 essieux, telles que la machine-tender à dix roues accouplées de la compagnie d'Orléans, et la machine à douze roues et à 4 cylindres de la compagnie du Nord.

La première, qui est représentée par la figure 562, a été construite par M. Forquenot en vue de l'exploitation de la ligne d'Aurillac à Murat, sur laquelle on trouve des rampes de 30 millimètres sur 15 kilomètres de longueur, combinées avec des courbes de 300 mètres de rayon; elle est portée par cinq essieux dont toutes les roues sont accouplées de chaque côté de la

[1] A. Leroy, *ouvrage cité*, p. 14.

machine. Elle a 230 mètres carrés de surface de chauffe ; elle porte elle-même son approvisionnement d'eau et de charbon et pèse de 55 à 60 tonnes, suivant l'état de cet approvisionnement. Elle a plus de 10 mètres de longueur de tampon en tampon et ses essieux extrêmes sont distants de 4,53 m. Afin de pouvoir faire passer dans les courbes de 300 mètres un rectangle aussi long, chaque boîte à graisse porte un système spécial, qui sera décrit un peu plus loin, et qui permet aux essieux, tout en restant parallèles entre eux, de se déplacer à la demande des courbes dans le sens de leur longueur.

Voici les éléments principaux de cette machine.

Poids de la machine avec approvisionnement complet		60 630 kg.
Poids moyen en marche		57 180 —
Poids moyen (approvisionnement épuisé)		53 750 —
Surface de chauffe	Foyer	10 m²
	Tubes (5 m. de longueur)	200 —
	Total	210 —
Diamètre des roues motrices		1,07 m.
Diamètre des cylindres		0,50 —
Course des pistons		0,60 —
Effort de traction sur les pistons avec 50 p. 100 d'admission		7 900 kg.
Adhérence (au 1/7)		7 675 kg.

La grosse machine du Nord (fig. 563), construite par M. Pétiet, est portée par 6 essieux divisés en deux groupes indépendants, ayant chacun son

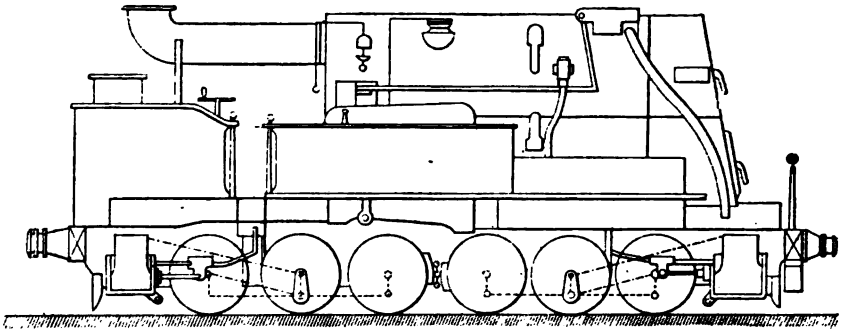


Fig. 563. — Locomotive-tender à 12 roues accouplées. (Compagnie du Nord.)

essieu moteur ; les essieux sont accouplés dans chaque groupe et commandés par deux mécanismes moteurs distincts. La machine a donc 4 cylindres et, malgré sa grande longueur, elle peut s'inscrire dans les courbes comme les machines ordinaires à trois essieux. C'est en réalité la réunion sur un même châssis de deux machines distinctes avec une chaudière commune. Elle porte elle-même son approvisionnement d'eau et de charbon et pèse 55 à 60 tonnes. Son effort de traction, mesuré sur les pistons avec le coefficient de réduction de 0,65, est de 8 590 kilogrammes.

Ces deux machines ont certainement des avantages réels et cependant, malgré le mérite de leur exécution, elles n'ont eu qu'un succès médiocre. Sur le réseau du Nord où il existe peu de fortes rampes, la machine de M. Pétiet a été à peu près abandonnée. Quant à la machine de l'Orléans, après avoir fonctionné sur la ligne du Cantal en vue de laquelle elle a été établie, elle a également cessé de faire ce service et a été utilisée, tant bien que mal, comme machine de manœuvres, à la gare de triage des Aubrais.

L'emploi de ces grosses machines présente, en effet, d'une manière générale, l'inconvénient suivant par rapport à la traction au moyen de deux machines, c'est qu'en dehors du passage spécial qui les justifie, elles offrent uu surcroît de puissance inutile et un excès de poids mort. Avec la double traction, au contraire, cet inconvénient n'existe pas; on attelle une seconde machine pour donner le supplément de travail nécessaire au passage difficile et on dételle cette machine quand le passage est franchi. On agit en somme comme on le fait sur les routes, où l'on emploie un cheval de renfort pour franchir les côtes très dures. En outre, les grosses machines ne permettent pas de fractionner les trains, suivant les variations du trafic, au moins quand on veut utiliser toute la puissance de travail qu'elles peuvent produire.

En définitive, on peut considérer comme des types d'un usage normal les locomotives à 3 et 4 essieux accouplés ; au delà de ce chiffre, on rentre dans les machines exceptionnelles, dont des circonstances absolument spéciales peuvent seules justifier l'emploi.

§ 2. — MACHINES A ADHÉRENCE ARTIFICIELLE

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des locomotives utilisant pour l'adhérence une partie plus ou moins considérable de leur propre poids. Il nous reste, pour en avoir terminé avec cette étude sommaire de la puissance de traction des locomotives, à parler des machines à adhérence artificielle. De nombreux essais ont été faits dans ce sens et ils dérivaient presque tous d'une idée erronée, qu'il importe de détruire tout d'abord ; cette idée, fort répandue parmi les personnes qui n'ont pas étudié de près la question, c'est que l'inclinaison des rampes admissibles sur les chemins de fer est limitée par l'adhérence et que, si l'on trouvait un moyen d'augmenter l'adhérence, on permettrait à la locomotive de franchir des rampes absolument inusitées et par conséquent, aux chemins de fer d'étendre à peu près indéfiniment le champ de leur action.

Or, c'est là une opinion qui, à côté d'une très faible part de vérité, con-

tient une large part d'erreur, ainsi que cela est facile à démontrer par une étude un peu attentive des conditions de la traction en rampe [1].

Quelle est, en premier lieu, la limite des rampes admissibles sur les chemins de fer à traction de locomotives ?

Il y en a une évidente et absolue ; c'est la rampe sur laquelle la machine, supposée à adhérence totale, ne pourrait même plus se remorquer elle-même.

Appelons P le poids de la machine, i la pente limite et f le coefficient

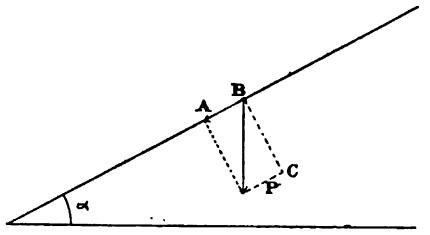


Fig. 564.

d'adhérence ; nous aurons, en exprimant que l'effort de traction est égal à la composante AB du poids de la machine (fig. 564) :

$$f \times \overline{BC} = \overline{AB},$$

ou

$$f P \cos \alpha = P \sin \alpha.$$

Substituant à cos α son expression $\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$, et admettant, par une approximation très suffisante, qu'on puisse remplacer sin α par tgα ou i, nous aurons

$$f P \sqrt{1 - i^2} = P i,$$

d'où on tire

$$i = \frac{f}{\sqrt{1 + f^2}}.$$

Si on fait $f = 0{,}14$, on a sensiblement

$$i = 0{,}14 \text{ m}.$$

Telle serait la limite de rampe sur laquelle la locomotive, incapable de se remorquer elle-même, resterait en équilibre sous l'action de la gravité annulée par l'effort de traction.

Au-dessous de cette limite toutes les inclinaisons sont possibles, à la rigueur ; mais à laquelle doit-on s'arrêter ? Evidemment, cela dépend de la charge qu'on veut faire remorquer à la locomotive, c'est-à-dire de l'effet utile qu'on veut lui faire produire. Or, cet effet utile diminue très rapidement

[1] Couche, *ouvrage cité*, t. II, p. 554 et suivantes.

quand l'inclinaison du tracé augmente et il devient très faible, dérisoire même, bien au-dessous de la limite de rampe fixée par l'adhérence.

Il est facile de s'en rendre compte.

Appelons p le poids de la locomotive, P celui du train remorqué à la vitesse uniforme V sur une rampe d'inclinaison i, et r le coefficient de la résistance correspondant à cette vitesse.

Le travail disponible dans l'unité de temps sur les roues motrices se composera de deux parties : le travail de la gravité et celui des résistances. Il sera donné par la formule

$$T = (P + p)\, iV + (P + p)\sqrt{1 - i^2} + rV,$$

où, en réduisant :

$$T = (P + p)\, V\,[i + r\sqrt{1 - i^2}].$$

Le terme i^2 est nécessairement très petit et peut être négligé devant 1, de sorte que l'on peut écrire :

$$T = (P + p)\, V\,(i + r). \qquad (1)$$

On en tire

$$P + p = \frac{T}{V\,(i + r)},$$

et

$$\frac{P}{p} = \frac{T}{Vp\,(i + r)} - 1.$$

Cette relation, qui donne la valeur du rapport $\frac{P}{p}$ en fonction de l'inclinaison i, exprime la loi de la décroissance de l'effet utile de la locomotive à mesure que la rampe augmente.

Si on fait $P = p$, la machine ne remorquera plus qu'un poids égal au sien, et on aura

$$\frac{T}{Vp\,(i + r)} = 2,$$

d'où

$$i = \frac{T}{2\,Vp} - r.$$

Si on fait $P = 0$, la machine ne pourra plus que se remorquer elle-même ; on aura

$$\frac{T}{Vp\,(i + r)} = 1,$$

d'où

$$i = \frac{T}{Vp} - r.$$

Telles sont les limites de pente qui résultent de la faiblesse de l'effet utile de la locomotive.

Quant à la limite qui résulte du défaut d'adhérence, elle s'exprime de la manière suivante, en écrivant que l'effort de traction $\frac{T}{V}$ est égal à sa valeur maxima $fp\sqrt{1-i^2}$:

$$fp\sqrt{1-i^2} = \frac{T}{V}.$$

Remplaçant T par sa valeur tirée de la formule (1) et négligeant encore i^2 devant 1, on a

$$fp = (P + p)\, i + r),$$

d'où on tire

$$P + p = \frac{fp}{i + r},$$

et

$$\frac{P}{p} = \frac{f}{i + r} - 1.$$

Pour $P = p$, cette relation donne $i = \frac{f}{2} - r$.

Pour $P = 0$, elle donne $i = f - r$.

Au moyen des formules précédentes, dont nous avons emprunté le calcul à M. Couche, il est facile de voir que ce n'est pas le défaut d'adhérence qui limite les rampes des tracés.

Considérons, par exemple, une machine à marchandises de la compagnie P.-L.-M., à quatre essieux accouplés, ayant 199,48 m² de surface de chauffe, pesant 51 tonnes et pouvant remorquer 2330 tonnes sur palier à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure (soit 4,16 m. par seconde).

Admettons pour le coefficient de résistance du train en palier à cette vitesse le chiffre de 3 kilogrammes par tonne qui tient compte en bloc des résistances de la machine et de celles des wagons, le travail de la machine sera

$$T = 3 \times 2\,381 \times 4{,}16 = 29\,714 \text{ kilogrammètres.}$$

Portant cette valeur dans les expressions de l'inclinaison déduite de la formule (1) et faisant

$$p = 51\,000 \text{ et } r = 0{,}003,$$

on trouve que la rampe sur laquelle la machine ne remorque plus qu'un poids utile égal à p est

$$i = \frac{29\,714}{2 \times 4{,}16 \times 51\,000} - 0{,}003 = 0{,}067 \text{ m.}$$

et que celle sur laquelle la machine ne pourrait plus traîner aucune charge utile est

$$i = \frac{29\,714}{4{,}16 \times 51\,000} - 0{,}003 = 0{,}137 \text{ m.}$$

Or les limites de pente imposées par l'adhérence et déduites de la formule (2) sont respectivement, en admettant $f = 0{,}15$ (valeur comprise entre 1/6 et 1/7) :

$$\text{Pour P} = p, \quad i = \frac{0{,}15}{2} - 0{,}003 = 0{,}072 \text{ m.}$$

$$\text{Pour P} = 0, \quad i = 0{,}15 - 0{,}003 = 0{,}147.$$

Ces limites sont toutes les deux supérieures à celles qui sont imposées par les dimensions du mécanisme. Donc, à la vitesse considérée, ce n'est pas le défaut d'adhérence qui limite l'inclinaison des rampes sur lesquelles la machine peut circuler : c'est simplement la faiblesse de l'effet utile qu'elle y produirait. Faire remorquer à une machine à la vitesse, déjà si réduite, de 15 kilomètres à l'heure un poids égal au sien, c'est, on peut le dire, une utilisation bien défectueuse de la puissance d'un moteur et la rampe qui conduit à ce résultat est évidemment exagérée ; elle est cependant notablement inférieure (67 millimètres au lieu de 72) à la limite qui résulte de l'adhérence. Par conséquent un supplément d'adhérence attribué à la machine ne servirait absolument à rien, tant qu'elle devrait marcher à la vitesse de 15 kilomètres ou à une vitesse supérieure.

Si on veut utiliser un supplément d'adhérence, il faudra donc faire marcher la locomotive à une vitesse inférieure à 15 kilomètres ; dès lors, le travail de la machine restant le même, l'augmentation de l'adhérence permettra d'augmenter l'effort de traction à mesure que la vitesse diminuera, et l'on pourra traîner un poids plus fort sur une rampe donnée, ou un même poids sur une rampe plus forte.

Supposons, par exemple, qu'on adopte la vitesse de 10 kilomètres à l'heure (soit 3,60 m. par seconde) ; alors la rampe sur laquelle la machine pourra remorquer un poids utile égal à son propre poids, sera

$$i = \frac{29\,714}{2 \times 3{,}60 \times 51\,000} - 0{,}003 = 0{,}078\text{m.}$$

On aura donc gagné à ce supplément d'adhérence, en admettant que son installation sur la machine n'entraîne pour celle-ci aucune augmentation de poids, de pouvoir remorquer 51 tonnes à la vitesse de 10 kilomètres sur une rampe de 78 millimètres, au lieu de les remorquer à la vitesse de 15 kilomètres sur une rampe de 67 millimètres.

Tel est le degré d'utilité que peut présenter l'augmentation de l'adhérence dans les conditions où nous nous sommes placés.

Cette utilité peut être réelle dans certains cas spéciaux ; mais il faut bien reconnaître qu'elle supprime à peu près complètement l'un des principaux avantages de l'emploi des chemins de fer, qui est la vitesse.

Il faut avoir des motifs bien puissants pour se résoudre à établir une ligne à traction de locomotives, sur laquelle la vitesse de marche ne sera pas supérieure à 10 kilomètres à l'heure, et on peut se demander si, dans des cas exceptionnels comme ceux-là, il ne serait pas préférable d'installer des plans inclinés, sur lesquels la traction des wagons se ferait au moyen de câbles s'enroulant sur des tambours mis en mouvement par des machines fixes.

On rentrerait alors dans le système funiculaire, tel qu'il existe à la Croix-Rousse (Lyon) et tel qu'on l'établit maintenant assez fréquemment pour permettre aux touristes de faire l'ascension des montagnes de la Suisse ou de l'Italie.

Système Fell. — Une application importante des locomotives à adhérence artificielle et indépendante du poids a été faite par M. *Fell* au mont Cenis, en vue de l'exploitation provisoire d'un chemin de fer qui avait été établi pour attendre la fin des travaux du percement de la montagne.

Cette application se trouvait là dans des conditions logiques et rationnelles et le supplément d'effort de traction, que l'on se procurait au moyen de l'adhérence artificielle, était obtenu en utilisant, comme il convient, la puissance de la machine à une vitesse réduite.

Il s'agissait de franchir la chaîne des Alpes à une hauteur de 2 125 mètres au moyen de rampes de 0,07 m. à 0,08 m. par mètre. On aurait pu, à la rigueur, y parvenir au moyen de locomotives à adhérence simple, mais à la condition, comme nous l'avons vu, de ne leur faire remorquer qu'une charge utile insignifiante. Il était évidemment bien préférable, dès l'instant que l'on voulait une traction par locomotives, de demander à un supplément d'adhérence l'augmentation d'effort nécessaire pour remorquer sur ces rampes un poids plus important.

La locomotive employée dans ce but par M. Fell était construite d'après un principe connu depuis longtemps, le plus pratique de tous ceux qui ont été imaginés ; il consiste à utiliser pour l'adhérence le poids de la machine et à se procurer le supplément nécessaire au moyen d'une pression de la vapeur exercée sur un rail central par l'intermédiaire de roues horizontales mises en mouvement par la machine.

La locomotive Fell était donc, en définitive, une machine à huit roues accouplées, savoir : quatre roues verticales porteuses, donnant un poids adhérent égal à celui de la machine, et quatre roues horizontales, fournissant le supplément d'adhérence dû à la pression qu'elles exerçaient sur le rail central. Cette disposition était particulièrement précieuse au mont Cenis,

où la ligne côtoyait à chaque instant des précipices sans fond ; elle fournissait, en effet, un frein très énergique, et un moyen d'empêcher absolument les déraillements.

Plusieurs types de machines ont été appliqués au chemin provisoire du mont Cenis.

Voici les données principales des dernières, qui ont été mises en service en 1870.

Poids de la machine	à vide	21 tonnes
	en marche	26 —
Surface de chauffe	du foyer	5,87 m²
	des tubes	78,03 —
	totale	83,90 —
Diamètre des roues porteuses		0,85 m.
— horizontales		0,50 —
Nombre des cylindres		4
Diamètre des cylindres		0,33 m.
Course des pistons		0,46 —
Charge remorquée sur une rampe moyenne de 0,07 m		30 tonnes
Vitesse moyenne		18 km.

L'effort de traction, rapporté aux pistons, était de 3,500 kg. environ pour le mouvement des roues verticales ; il atteignait à peu près le même chiffre pour le mouvement des roues horizontales sous une pression de 20 tonnes environ.

L'exécution de la ligne, dont le tracé empruntait une route existante sauf rectification de quelques courbes trop raides, et l'application du système Fell ont été faites au mont Cenis avec beaucoup d'habileté, et c'est assurément un grand mérite d'avoir pu réussir, pendant plusieurs années, à exploiter sans accidents sérieux une ligne établie à plus de 2000 mètres d'altitude avec des rampes de 80 millimètres et des courbes de 40 mètres de rayon (la largeur de la voie était de 1,10 m.).

Cependant, malgré les conditions économiques exceptionnellement favorables dans lesquelles la ligne était placée, puisque la plate-forme du chemin avait été livrée gratuitement à la compagnie, l'entreprise a été désastreuse : le chemin de fer, qui côtoyait la route, a enlevé à celle-ci la plus grande partie des voyageurs, mais il n'a pas réussi à lui enlever les marchandises.

En somme, le chemin provisoire du mont Cenis reste comme une tentative qui tiendra dignement sa place dans l'histoire des chemins de fer, mais qui ne paraît pas destinée à fournir la solution pratique du problème de la traversée des chaînes de montagne à grande hauteur. Suivant l'expression de M. Couche, si cette belle mais coûteuse expérience a prouvé quelque chose, c'est — précisément parce qu'elle a été très bien faite — qu'il faut chercher ailleurs la solution du problème.

§ 4. — CONCLUSIONS A TIRER DE L'ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE AU POINT DE VUE DES TRACÉS

De l'étude que nous venons de faire de la puissance de traction de la locomotive ainsi que des conditions de son emploi, on peut tirer les conséquences suivantes en ce qui concerne les pentes à adopter pour les tracés de chemins de fer.

S'il s'agit de créer une grande artère de circulation, une ligne de premier ordre, destinée à relier une capitale comme Paris à de grands centres de population et de production, tels que Rouen, Lille, Lyon, Bordeaux ou Nantes, il y a un intérêt considérable à ce que la ligne soit établie de manière à permettre la circulation des trains à grande vitesse; il faut donc maintenir autant que possible le tracé dans la limite de pente de 5 millimètres par mètre. On peut d'ailleurs atteindre assez fréquemment ce maximum et, notamment, toutes les fois que son emploi peut conduire à une économie importante sur la dépense d'établissement de la ligne, ou à une amélioration sensible du tracé en plan, soit au point de vue des courbes, soit en ce qui concerne les localités à desservir. L'emploi de la déclivité de 5 millimètres n'imposera pas aux locomotives des trains express un supplément appréciable d'effort de traction sur celui qu'elles auraient à produire pour franchir, en rampe continue, la différence de niveau qui sépare les localités desservies par le tracé.

Cette limite de pente n'est d'ailleurs pas absolue et il peut être avantageux de la dépasser, mais seulement par exception et lorsque certaines parties du tracé présentent des difficultés considérables et seraient trop coûteuses à établir avec la limite de 5 millimètres. Dans ce cas, on peut adopter pour ces points particulièrement difficiles un maximum de pente de 8 à 10 millimètres et, comme le service des lourds trains de marchandises doit exiger dans ces parties un supplément important de l'effort de traction, il faut avoir soin de les placer, autant que possible, à proximité d'un dépôt de locomotives.

C'est d'après ces principes qu'ont été tracées les grandes artères du réseau français, votées par la loi du 11 juin 1842. Elles comprennent plus de 3 000 kilomètres de lignes et, sur ces 3 000 kilomètres, 75 seulement comportent des déclivités supérieures à 5 millimètres et variant de 6 à 8 millimètres par mètre; elles sont, en outre, presque toutes placées à proximité d'un dépôt de machines. De plus, le minimum du rayon des courbes est généralement de 800 à 1 000 mètres.

Ce programme a été assurément d'une réalisation coûteuse; mais il n'y a pas lieu de s'en repentir, puisqu'il permet aujourd'hui de faire circuler sur

ces lignes des trains de grande vitesse, dont la rapidité dépasse de beaucoup les prévisions les plus larges des ingénieurs qui ont construit les lignes du programme de 1842.

S'il s'agit d'établir, au lieu d'une ligne de premier ordre, une ligne secondaire destinée à desservir une circulation moins importante, il est clair que l'intérêt qu'il y a à réduire les déclivités pour diminuer les frais de traction devient bien moins considérable et s'efface, dans une certaine mesure, devant la question des dépenses de premier établissement, qui peuvent être notablement réduites par l'adoption de pentes un peu plus élevées, combinées avec des courbes de rayon un peu moins grand. Dès lors, les limites fixées pour les lignes de premier ordre peuvent être dépassées sans inconvénient.

Il y a plus : il peut arriver que, dans certaines limites, il n'y ait aucun avantage à adopter de faibles pentes sur les lignes secondaires. En effet, l'exploitation de ces lignes exige généralement un nombre minimum de trains dans chaque sens, au-dessous duquel il ne serait pas possible de descendre sans nuire à la commodité des voyageurs et à la régularité des transports de marchandises ; dès lors, si le trafic à desservir ne fournit pas à ces trains leur maximum de charge, il n'y a pas d'inconvénient à ce que ce maximum soit plus ou moins réduit par les rampes du tracé, à la condition toutefois qu'il ne se produise pas, dans un délai assez rapproché, une augmentation de trafic capable d'alimenter les trains à leur maximum de charge.

Pour ces divers motifs, on adopte généralement sur les lignes secondaires un maximum de pente de 10 à 12 millimètres, combiné avec un minimum de 500 mètres pour le rayon des courbes. Ces limites sont, pour les lignes secondaires, l'équivalent de ce qu'étaient pour les lignes principales celles de 5 millimètres et de 800 à 1 000 mètres de rayon. En outre, de même que pour les lignes à grande circulation on admettait la possibilité, dans certains cas exceptionnels, d'aller jusqu'à 8 et 10 millimètres de pente, de même on admet pour les lignes secondaires, qu'en présence d'obstacles considérables et sur de faibles longueurs, on peut adopter des déclivités de 20 à 25 millimètres et des courbes de 300 mètres de rayon.

Il faut nécessairement imposer à tous les trains dans ces parties du tracé un ralentissement notable, de manière à permettre à la locomotive de développer un effort de traction suffisamment élevé ; on y emploie au besoin des machines de renfort.

Cette limite de 25 millimètres ne représente pas, bien entendu, la limite de puissance de la locomotive ; nous avons vu, en effet, que les machines à 3 essieux accouplés peuvent remorquer 110 à 115 tonnes sur des rampes de 30 millimètres ; les machines à 4 essieux, dont la puissance de traction est encore plus grande, peuvent franchir ces rampes et de plus fortes encore

en y remorquant des charges plus élevées. Mais ces charges sont encore bien faibles si on les compare à celles que ces mêmes machines peuvent traîner sur les pentes ordinaires de 5 à 10 millimètres, et il ne faut pas se dissimuler que l'adoption de déclivités supérieures à 25 millimètres rend l'exploitation très onéreuse, surtout quand elles sont combinées avec des courbes de faible rayon.

Les lignes à pentes de 30 à 35 millimètres dont nous avons cité des exemples[1] doivent être considérées comme des tracés exceptionnels; leur adoption n'a pu être motivée que par l'importance qu'on attribuait à réaliser, à travers un pays particulièrement difficile, une jonction entre deux lignes de déclivités ordinaires ; encore faut-il que le mouvement de la circulation sur ces lignes de jonction ne soit pas très considérable.

Il en est ainsi pour la ligne qui joint le réseau d'Orléans à celui de Lyon à la traversée du Cantal (*Ligne de Murat à Aurillac, — pente maxima* 30 *millimètres*) et pour la traversée, sur la ligne de Bayonne à Toulouse, du contrefort des Pyrénées qui sépare la vallée de Luchon de celle de Bigorre (*Réseau du Midi, — pente maxima* 32 *millimètres*).

Ce sont des considérations analogues qui justifient, sur les réseaux étrangers, les tracés exceptionnels suivants :

Les chemins d'accès au tunnel du mont Cenis, où la limite de pente a été prise égale à 30 millimètres sur les deux versants, par suite de la grandeur inusitée de l'obstacle qu'il s'agissait de franchir, et qui n'a pu l'être, ainsi que nous l'avons vu, qu'au prix de dépenses considérables ;

La ligne du Saint-Gothard, où des motifs du même ordre ont fait adopter des rampes de 26 millimètres;

La traversée de l'Apennin par le chemin de Turin à Gênes, qui présente une rampe de 35 millimètres.

Ces rampes ne sont pas, d'ailleurs, les plus élevées qu'on trouve sur les chemins de fer exploités par locomotives ordinaires.

Il y a, en premier lieu, aux portes mêmes de Paris, sur la lignes de Saint-Germain-en-Laye, une rampe de 35 millimètres sur 1 kilomètre de longueur ; en outre, la petite ligne d'Enghien à Montmorency renferme la plus forte rampe des chemins de fer français ; elle est de 45 millimètres sur 1200 mètres de longueur. Mais la position de ces deux rampes à l'extrémité des deux lignes dont il s'agit les met dans des conditions très favorables au point de vue de la traction, et les locomotives les franchissent facilement en utilisant la vitesse acquise.

Les plus fortes rampes de chemins de fer à adhérence simple existent en Amérique, où la ligne de Richmond à l'Ohio comporte des déclivités de 56 mil-

[1] Tome I, p. 79.

limètres, et celle de Jefferson à Indianopolis une rampe de 60 millimètres sur 2 kilomètres de longueur. Mais la traction est favorisée sur ces lignes par une adhérence exceptionnellement élevée, qui permet un grand effort de traction et une vitesse extrêmement réduite. Le patinage y est d'ailleurs combattu par différents moyens, tel que l'emploi de l'eau ou du sable jetés sur les rails pour augmenter l'adhérence ; les charges remorquées sont nécessairement très faibles.

En somme, on doit considérer la limite de 25 millimètres comme celle qu'il est très désirable de ne pas dépasser sur les lignes un peu importantes; les rampes de 30 et de 35 millimètres sont les limites extrêmes auxquelles on doit aller sur des lignes à faible trafic.

Dans le cas où il paraît absolument nécessaire d'adopter des déclivités encore plus grandes, ce n'est pas à un supplément d'adhérence qu'il faut s'adresser pour obtenir l'effort de traction nécessaire, car ce supplément ne peut avoir d'utilité réelle qu'à des limites de pentes où l'emploi de la locomotive n'a plus de raison d'être. Ce qu'il y a de mieux à faire, lorsqu'on est obligé d'en arriver à des déclivités aussi considérables, c'est de les concentrer en un point, en les exagérant au besoin, et d'installer en ce point des plans inclinés, sur lesquels la traction se fait au moyen de câbles mis en mouvement par des machines fixes.

ANNEXES

ANNEXE A

GARE DE THOUARS

Consigne réglant les manœuvres de triage par la gravité.

I. — Gare de triage. affectation des voies

La gare de triage se compose d'un groupe de voies comprenant les voies 24 *ter*, 24 *bis*, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46.

Ces voies ont en principe l'affectation suivante :

Voie 24 *ter*. — Garage.
— 24 *bis*. — Garage.
— 24 — Garage.
— 26 — Garage.
— 28 — Réception et formation.
— 30 — Direction de Tours, Thouars local et transbordement.
— 32 — Direction Niort-Bordeaux.
— 34 — Wagons vides et plates-formes.
— 36 — Direction Bressuire.
— 38 — Direction Bressuire et wagons vides couverts.
— 40 — Direction Château-du-Loir-Paris.
— 42 — Direction Angers.
— 44 — Réception et formation.
— 46 — Réformés, accumulateurs à gaz.

Observations. — Les voies 24 *ter*, 24 *bis*, 24 et 26, n'étant pas reliées directement avec la voie de la butte, ne font pas partie des voies de triage proprement dites : les rames à débrancher garées sur ces voies sont amenées sur la voie de la butte par les T. J. D. nos 48 et 52[1].

II. — Attributions du personnel

L'équipe de triage se compose d'un ou plusieurs aiguilleurs et d'un chef de manœuvre (chef ou sous-chef d'équipe) ayant sous ses ordres un décrocheur et le nombre de caleurs nécessaire.

1° *Aiguilleurs*. — Les aiguilleurs sont chargés de disposer les aiguilles pour diriger les

[1] Non représentées sur la figure.

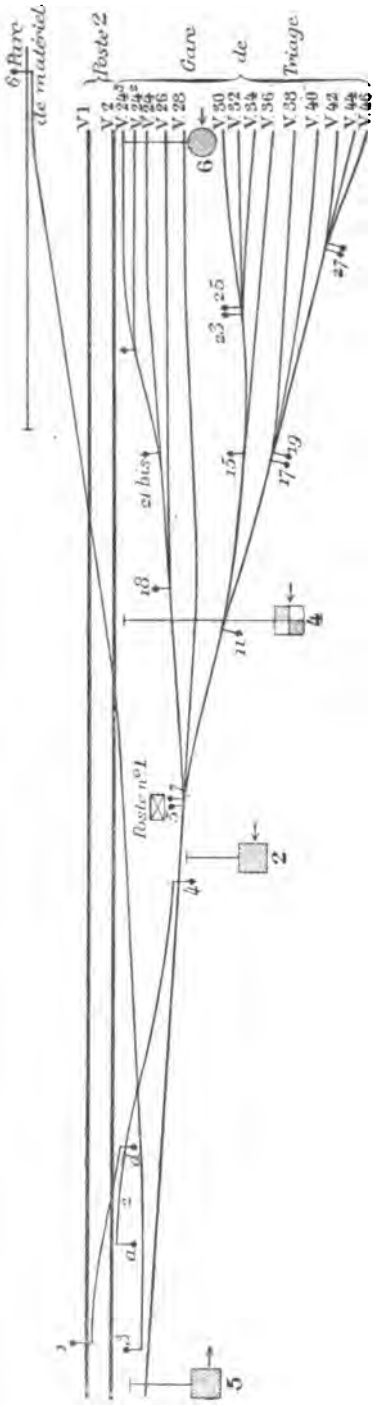


Fig. 565. — Gare de Thouars. — Schéma de la disposition des voies de triage.

rames de wagons sur les voies qui leur sont indiquées successivement par le chef de manœuvre.

Ils doivent être munis d'un porte-voix ou d'une corne d'appel, ainsi que d'un drapeau rouge et d'une lanterne à feu rouge.

L'aiguilleur assure la manœuvre des aiguilles **6 *bis*, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 24, 26**[1] **et 27**

2° *Chef de manœuvre.* — Le chef de manœuvre est chargé de la surveillance générale des manœuvres de débranchement. Il doit être porteur d'un drapeau rouge ou d'une lanterne à main lui permettant à tout moment de faire à distance des signaux aux aiguilleurs, aux caleurs et aux décrocheurs; un cornet d'appel et un porte-voix sont en outre mis à sa disposition.

Il surveille le travail des caleurs et doit s'assurer qu'ils disposent les cales conformément aux prescriptions de la présente consigne.

Il est attentif aux signaux ou aux avis venant de l'aiguilleur et des caleurs, afin de pouvoir les transmettre au décrocheur et, au besoin, au mécanicien.

Il doit exiger du mécanicien une allure régulière et très modérée.

3° *Décrocheur.* — Le décrocheur se tient, pour le débranchement, au sommet du dos d'âne; il est chargé d'opérer le décrochage des rames en faisant sauter, au moyen d'un levier en bois, les tendeurs d'attelage. S'il éprouvait une difficulté, il devrait arrêter complètement la manœuvre, décrocher à la main et ne laisser recommencer le mouvement qu'après s'être remis en dehors de la voie.

Dans certains cas, les fonctions de décrocheur peuvent être remplies par le chef de manœuvre; mais il est alors interdit à ce dernier de s'introduire entre les tampons pour procéder au décrochage, qu'il doit opérer exclusivement à l'aide du levier spécial. S'il ne peut y parvenir, il appelle un autre agent qu'il charge d'exécuter le décrochage à la main, une fois la manœuvre arrêtée, dans les conditions indiquées à l'alinéa précédent.

Le décrocheur est porteur d'un drapeau rouge ou d'une lanterne à main et doit exiger du mécanicien une allure régulière et très modérée. Il est attentif aux signaux et aux ordres venant du chef de manœuvre et doit, immédiatement, répéter au mécanicien ceux qui lui sont destinés, en particulier les signaux d'arrêt.

4° *Caleurs.* — Les caleurs sont chargés d'arrêter, au moyen de cales-sabots, les wagons

[1] Non représentées sur la figure.

descendant de la butte. Ils doivent être munis d'un porte-voix ou d'une corne d'appel. Certains d'entre eux peuvent en outre être chargés de manœuvrer des aiguilles situées sur les voies où ils doivent assurer le calage ou dans le voisinage immédiat de ces voies.

La direction donnée à chacune des rames lancées et le nombre des wagons à caler sont indiqués à haute voix aux caleurs par le chef de manœuvre.

Le premier caleur assure le calage sur les voies 28, 30, 32.

Le deuxième caleur assure le calage sur les voies 34, 36, 38.

Le troisième caleur assure le calage sur les voies 40, 42, 44, 46.

III. — Manœuvres

Les débranchements s'opèrent de la manière suivante :

S'il s'agit d'un train à débrancher directement dès son arrivée, sans manœuvre préalable de garage, un pointeur doit, dès que ce train est arrêté, relever sur un carnet spécial, en faisant usage d'une feuille de papier chimique, pour en obtenir immédiatement un décalque, les numéros des wagons entrant dans la composition du train, qu'il inscrit dans l'ordre où ils se trouvent depuis la tête jusqu'à la queue ; il s'assure, au moyen des feuilles de tonnage et des bordereaux de chargement, de la destination exacte des wagons, et une fois ce pointage opéré, il remet au chef de manœuvre le décalque de son relevé. Muni de ce relevé, le chef de manœuvre fait préparer les coupes en séparant les chaînes et en relevant sur les tampons celles dont la longueur serait de nature à occasionner des avaries aux aiguilles ; il fait ensuite desserrer les tendeurs entre les wagons à décrocher ; il inscrit à la craie en gros chiffres très apparents :

1° Sur l'un des tampons du premier wagon de la première rame, le numéro de la voie sur laquelle doit être reçue cette rame ;

2° Sur le dernier wagon de chaque rame, le numéro de la voie sur laquelle la rame suivante doit être dirigée.

Enfin, il fait conduire la manœuvre sur la voie de tiroir desservant le dos d'âne.

S'il s'agit du débranchement d'une rame garée, le chef de manœuvre opère comme il vient d'être dit pour la préparation des coupes et pour les inscriptions à la craie à porter sur le premier wagon de la première rame et sur le dernier wagon de chaque rame. Il fait ensuite conduire la manœuvre sur la voie de tiroir desservant le dos d'âne.

Le chef de manœuvre indique à haute voix aux aiguilleurs et aux caleurs le nombre de wagons à caler et la voie qu'ils vont suivre. Ces indications sont données par lui sous la forme suivante : « Calez pour (..... wagons) sur la voie n° ..... »

Dès qu'un aiguilleur ou un caleur s'aperçoit qu'un croisement n'est pas dégagé par la dernière rame arrêtée, ou que ce croisement risque d'être engagé par la réception de la rame suivante, il doit en avertir aussitôt le chef de manœuvre au moyen d'un porte-voix ou de coups saccadés de corne d'appel. Cet avis doit être transmis dans les mêmes conditions par tous les aiguilleurs ou caleurs qui se trouvent plus rapprochés du chef de manœuvre jusqu'à ce qu'il parvienne à ce dernier qui fait immédiatement suspendre tout nouvel envoi de wagons.

Les coups de corne d'appel donnés ou transmis par les aiguilleurs doivent être complétés par les signaux réglementaires d'arrêt faits au moyen d'un drapeau rouge ou d'une lanterne à feu rouge.

Dès que le chef de manœuvre s'aperçoit ou est prévenu par les caleurs ou par les aiguilleurs qu'un croisement est ou va être engagé, il doit présenter au décrocheur le signal d'arrêt réglementaire (drapeau ou lanterne à feu rouge) et appeler son attention au moyen de plusieurs coups saccadés de corne d'appel. Le décrocheur doit immédiatement faire interrompre tout nouveau lancé. Si toutefois une rame de wagons était déjà abandonnée sur la descente au moment où l'avis de croisement engagé est donné, les aiguilleurs et caleurs devraient prendre d'office les mesures nécessaires pour arrêter cette rame ; en pareil cas, il vaut mieux diriger la rame sur la voie occupée par les wagons qui engagent le croisement que de laisser se produire une prise en écharpe.

Une fois cette rame arrêtée, le chef de manœuvre la fait reprendre avec la machine et, après avoir pris les mesures utiles pour dégager le croisement obstrué, il procède à nouveau aux opérations de triage.

Dès qu'il s'aperçoit ou qu'il est avisé qu'une rame descend avec une vitesse assez faible pour faire craindre qu'elle soit rejointe par la rame suivante, il doit imposer au mécanicien un ralentissement exceptionnel.

D'ailleurs, si, en raison des circonstances locales, la descente des rames de wagons venant de la butte s'effectue dans des conditions de nature à faire craindre qu'elles se rejoignent trop fréquemment aux abords des croisements, le chef de manœuvre doit prescrire d'une façon générale le ralentissement des opérations de décrochage pour que les rames consécutives conservent l'espacement nécessaire.

IV. — Lancement des wagons

Il ne doit jamais être lancé à la fois du dos d'âne plus de :

3 wagons chargés de 10 tonnes ;

4 wagons chargés de moins de 10 tonnes ;

6 wagons vides.

Il est interdit de lancer une rame composée d'un ou plusieurs wagons vides en tête, suivis de wagons chargés.

Dans ce cas, les wagons vides doivent être lancés séparément.

Lorsqu'une rame composée d'un nombre de wagons supérieur aux limites ci-dessus fixées est pourvue de freins, le chef de manœuvre du débranchement peut en autoriser la descente en faisant servir ces freins après s'être assuré de leur bon fonctionnement. Dans ce cas, la longueur de la rame ne doit pas dépasser 6 ou 8 wagons suivant leur charge. En outre, on ne doit laisser partir la rame que du milieu de la pente, afin de réduire la vitesse et de permettre d'obtenir plus facilement l'arrêt.

L'attention des agents est particulièrement appelée sur les points suivants :

1° Conformément aux articles 21 de l'ordre de service 578 et 140 du règlement du 12 novembre 1897, pour le transport par chemin de fer des matières dangereuses, explosibles, inflammables, il est formellement interdit de manœuvrer au lancé des wagons chargés d'explosifs. Ces wagons ne peuvent d'ailleurs être manœuvrés au moyen de machines locomotives qu'à la condition d'être précédés et suivis de 3 wagons isolateurs. Les manœuvres doivent s'effectuer avec une vitesse ne dépassant pas celle d'un homme marchant au pas.

2° Les wagons de dynamite et de poudre doivent stationner sur des voies isolées, autant que possible, du mouvement général de la gare, et être protégés par des signaux rouges qui en défendent l'approche. On devra utiliser à cet effet pour le garage la diagonale des aiguilles 32, 25.

3° Il est interdit de lancer des grues roulantes, des wagons chargés soit de bestiaux accompagnés, soit de voitures caravanes, de locomobiles, de voitures de déménagements ou autres montées sur roues, soit de rails de 11 mètres, de plaques de blindage, de touries vides, de bois en grume, et, en général, tous les wagons couplés ainsi que les voitures à voyageurs et les wagons chargés de pierres de taille gardées.

4° Les wagons chargés de fûts pleins, de poterie, de céramique, de faïence, de porcelaine ou de verrerie seront lancés individuellement et jamais en rame. En outre, pour ce qui les concerne, les cales-sabots devront être placées à une distance du point d'arrêt double de la distance ordinaire indiquée ci-après, de manière à obtenir toute garantie contre les éventualités du choc.

5° Les cales-sabots seront également placées à une distance du point d'arrêt double de la distance ordinaire toutes les fois que la rame lancée devra être aiguillée sur une voie où les derniers véhicules reçus seront des wagons dont les chargements sont indiqués dans les deux paragraphes précédents.

6° Les wagons à frein de certaines compagnies étrangères dont les sabots se trouvent à l'extérieur des roues et sont susceptibles de butter contre les cales-sabots d'arrêt ne doivent être abandonnés sur la descente de la butte que si, dans la rame qui les contient, ils sont précédés d'au moins un véhicule pouvant aborder sans inconvénient une cale-sabot d'arrêt; dans le cas contraire, l'emploi de la cale-sabot est interdit et l'arrêt des wagons dont il s'agit ne doit être obtenu qu'au moyen de leurs propres freins, à défaut desquels il est prescrit de les conduire jusqu'à leur point d'arrêt en les laissant attelés à la machine.

V. — Emploi des cales-sabots

La cale-sabot doit être placée bien d'aplomb, sa face intérieure appliquée dans toute sa longueur sur le champignon du rail; pour l'appliquer ainsi, les caleurs doivent, en posant la cale, lui donner à la main un coup sur le côté de la joue à l'intérieur de la voie. Dans les courbes, il faut poser la cale sur le rail du plus petit rayon. Il est interdit d'utiliser les cales sur les pointes de cœur.

En cas de brouillard épais et lorsque le rail est humide, deux cales sont employées par voie, à raison d'une sur chaque rail. Dans les parties droites, elles doivent alors être placées l'une en face de l'autre; dans les parties en courbe, la cale du rail de petit rayon doit précéder l'autre de quelques mètres.

Il doit toujours y avoir une cale-sabot placée sur chaque voie à 30 mètres environ en deçà du point que les wagons ne doivent pas dépasser sur cette voie (extrémité en cul-de-sac, croisement de la jonction avec voie ou avec une transversale, etc.).

Pour arrêter une rame lancée, la cale-sabot doit être placée à une distance du point d'arrêt au moins égale à la longueur de cette rame. En temps de brouillard, ou lorsque le rail est humide, cette distance doit être doublée.

Le caleur doit d'ailleurs faire en sorte qu'aucun intervalle ne sépare les uns des autres les rames et wagons isolés arrêtés successivement par lui sur une même voie, mais en prenant toutefois les précautions nécessaires pour ne laisser se produire aucun accostage violent.

Si cependant certains intervalles subsistent, la machine de manœuvre opérera ensuite le rapprochement des rames séparées, soit lors de la conduite d'un véhicule dont le lancement est interdit, soit lors de la reprise d'un wagon à changer de voie.

Dès qu'une rame est arrêtée, la cale-sabot est aussitôt reportée en avant pour qu'on n'ait plus qu'à la déplacer, au besoin, de quelques mètres, lorsqu'on voudra obtenir l'arrêt d'une nouvelle rame envoyée sur la même voie. La cale ne doit jamais être saisie autrement que par sa poignée.

Il est interdit aux caleurs de traverser les voies devant les véhicules en mouvement.

Dès que le triage d'un train est terminé, chaque caleur doit opérer, conformément aux indications du chef de manœuvre, l'attelage des véhicules arrêtés sur les voies dont il est chargé.

VI. — Signaux

Lorsque les manœuvres de triage par la gravité sont sous la dépendance de signaux fixes, la position et l'objet de ces signaux sont réglés par une consigne spéciale.

VII. — Dispositions d'ordre

Les aiguilleurs, le chef de manœuvre, le décrocheur et les caleurs doivent être munis chacun d'un exemplaire de la présente consigne, qui est affichée en outre dans les différentes guérites affectées aux agents préposés aux manœuvres.

Thouars, le 25 août 1907.

ANNEXE B

CHEMINS DE FER
DE L'ÉTAT

ANNÉE 1905

19 SEPTEMBRE

ORDRE SPÉCIAL N° 94

ENCLENCHEMENTS PAR SERRURES BOURÉ

Consigne réglant l'emploi et la manœuvre des serrures Bouré.

§ 1er. — Renseignements généraux

Article premier. — Les combinaisons d'enclenchements destinées à réaliser entre les signaux et les appareils de voie les relations nécessaires pour assurer la sécurité de la circulation des trains ou des manœuvres peuvent être obtenues au moyen de serrures Bouré employées seules ou concurremment avec d'autres systèmes.

Ces serrures sont généralement montées sur les leviers des appareils enclenchés ou sur ces appareils eux-mêmes selon leur nature, de manière à les immobiliser dans une position déterminée.

On est convenu d'appeler *serrure agencée* ou simplement *serrure* l'ensemble de l'*armature* du levier ou de l'appareil, de l'*agrafe* pourvue de sa chaîne et de la *serrure proprement dite* rivée sur l'agrafe ; en un mot, tout le dispositif permettant d'immobiliser un levier ou un appareil ; c'est à cet ensemble que s'appliquent les dénominations S_1, S_2, S_3, etc. qui figurent dans les consignes des gares.

La *serrure* a deux clés : la *clé fixe*, qui est inséparable de l'armature, et la *clé mobile* qu'on peut transporter d'un point à un autre. Cette dernière est aussi appelée simplement *clé* de la serrure : c'est elle qui prend, en même temps que sa serrure, les dénominations ci-dessus S_1, S_2, S_3, etc.

Les serrures S_1, S_2, S_3, etc., diffèrent entre elles, mais uniquement par la forme des clés correspondantes.

Une serrure agencée peut avoir plusieurs clés mobiles de même type ou de type différent.

Une serrure à deux clés 1, par exemple, est ainsi désignée : $1 + 1$.

Art. 2. — Lorsque les deux parties d'une serrure sont séparées et que par conséquent l'appareil auquel elle est appliquée est libre, la clé est prisonnière dans la serrure.

Au contraire, lorsque la clé est libre, les deux parties de la serrure ne peuvent être séparées et l'appareil est immobilisé.

Art. 3. — Deux clés sont dites *conjuguées* l'une avec l'autre dans une serrure, si, lorsque l'une est retirée de cette serrure, l'autre s'y trouve prisonnière.

Une serrure désignée $1 + \frac{T}{1}$ est une serrure à deux clés 1 et T dans laquelle on ne peut retirer la clef 1 que si la clef T est prisonnière et réciproquement.

Art. 4. — Les clés des divers appareils peuvent, dans certains postes, s'adapter à une serrure centrale et y être conjuguées de façon que les enclenchements nécessaires se trouvent réalisés.

La *serrure centrale* porte, au-dessus des trous des clés, des plaques indicatrices divisées en deux compartiments. Dans le compartiment supérieur sont inscrits les noms des appareils aux serrures agencées desquelles s'adaptent les clés ; dans le compartiment inférieur se trouvent inscrits, en gros caractères, le nom des clés correspondantes, et au-dessous, en caractères plus petits, les noms des clés conjuguées avec ces dernières.

§ 2. — Manœuvre des serrures

Art. 5. — *Règle générale.* — Pour retirer une clé d'une serrure, il faut d'abord y introduire et y tourner la ou les clés conjuguées avec elle.

Sens de rotation des clés. — Toute clé qu'on vient d'introduire dans une serrure doit y être tournée dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre (sens du vissage) ; toute clé qu'on veut en retirer doit y être tournée en sens inverse (sens du dévissage).

Position des serrures agencées. — Les serrures agencées sont généralement montées sur les leviers, taquets, etc., de telle façon qu'un agent placé à l'extrémité d'un levier et faisant face à son articulation, ou s'approchant d'un taquet en venant de la gare, ait la serrure à sa droite.

De ce qui précède, il résulte que les opérations à faire pour immobiliser ou libérer un levier se succèdent invariablement dans l'ordre suivant :

Pour immobiliser un levier. — Saisir l'agrafe de la main droite, engager ses tenons dans les mortaises de l'armature et pousser l'agrafe vers l'axe du levier, à fond ; pousser de la main gauche la clé fixe dans la serrure, en l'enfonçant de toute sa longueur, et la tourner (sens du vissage) ; tourner de la main droite la clé mobile (sens du dévissage) et la retirer.

Pour libérer un levier. — Introduire de la main droite la clé mobile dans la serrure et la tourner (sens du vissage) ; tourner de la main gauche la clé fixe (sens du dévissage) et l'extraire de la serrure en la tirant de toute sa longueur ; saisir de la main droite l'agrafe, la faire glisser en la tirant à soi et la déplacer de gauche à droite pour la séparer de l'armature.

Toute agrafe séparée de l'armature correspondante doit être placée de champ et non à plat.

§ 3. — Transmission de clés

Art. 6. — Lorsqu'on veut éviter à l'agent chargé de la manœuvre sur place d'appareils enclenchés par serrures l'obligation d'aller chercher à la serrure centrale les clefs de ces appareils, on établit entre le poste où se trouve la serrure centrale et celui d'où se manœuvrent les appareils une transmission de clés qui dispense d'effectuer le trajet.

Ce dispositif est constitué pour chaque nature de clé par un fil de transmission terminé à chaque extrémité par une serrure agencée. Lorsqu'à l'une des extrémités du transmetteur la serrure est réunie à son armature et que par conséquent les clés mobiles peuvent en être extraites, la serrure correspondante de l'autre extrémité est séparée de son armature et les clés mobiles de cette dernière serrure y sont prisonnières.

La transmission peut également se faire électriquement. Dans ce cas chaque extrémité est constituée par un verrou de gare pourvu d'une serrure qui ne peut être réunie à son armature lorsque le verrou est libre et qui interdit au contraire la manœuvre du verrou lorsqu'elle est réunie à son armature.

Art. 7. — Dans certains postes d'enclenchements l'extrémité de la transmission mécanique est rattachée directement à un des leviers de la table. S'il s'agit d'une transmission électrique le verrou du poste secondaire est enclenché par un ou plusieurs leviers de la table d'enclenchements.

§ 4. — Clés de secours

Art. 8. — Des clés de secours de chaque type sont déposées à la gare afin de permettre de remplacer une clé en service qui serait égarée ou hors d'état de fonctionner. Ces clés de secours sont embrochées sur un râtelier auquel chacune d'elles est fixée par une ficelle scellée à la cire au moyen d'un cachet spécial par l'inspecteur de la section.

En outre, des clés supplémentaires de réserve utilisables dans la plupart des gares de passage, sont remises à l'inspecteur de section. Dans les gares plus importantes les clés de réserve, réunies au moyen d'une ficelle scellée par le cachet ou plombée par la pince de l'inspecteur de section, sont conservées par le chef de gare dans son coffre-fort.

Chaque fois qu'un scellé de clés de secours a été brisé, le chef de gare doit en informer immédiatement l'inspecteur de section, en lui désignant la clé de secours qu'il a dû utiliser. L'inspecteur de section se rend sur place et procède à une enquête sur les causes qui ont rendu nécessaire l'emploi de la clé de secours, afin d'en rendre compte à l'inspecteur principal de l'arrondissement. Il remplace sur le râtelier, au moyen d'une clé de sa réserve ou de la réserve de la gare, la clé de secours utilisée et rétablit les scellés.

Si une clé en service, après avoir été momentanément égarée et remplacée par une clé de secours, est retrouvée, elle doit être remise immédiatement au chef de gare qui, après s'être assuré qu'elle n'est pas avariée, en avise d'urgence l'inspecteur de section afin que celui-ci puisse la remettre en réserve.

Toute clé en service reconnue avariée, et remplacée par une clé de secours, doit être immédiatement envoyée à l'inspecteur principal ; si elle ne peut être réparée pour être replacée en réserve, cette clé doit être détruite.

§ 5. — Consignes particulières des gares

Art. 9. — Dans chaque gare munie de serrures Bouré, une consigne fera connaître :

Les appareils munis de serrures ;

Les positions dans lesquelles lesdits appareils sont immobilisés ;

La désignation des serrures et des clés correspondantes ;

Les relations établies entre les différentes clés soit dans certaines serrures d'appareils, soit dans les serrures centrales.

L'emplacement des appareils sera en outre indiqué sur un croquis sommaire de la gare et la disposition de la serrure centrale sera également figurée sur la consigne.

Art. 10. — L'emploi des serrures Bouré procure un supplément de garantie pour la sécurité, mais ne dispense en rien de l'observation des prescriptions réglementaires.

Art. 11. — En cas de non fonctionnement ou d'avaries d'une ou plusieurs serrures, les mesures exceptionnelles propres à garantir la sécurité doivent être prises par les soins et sous la responsabilité du chef de gare qui doit d'ailleurs aviser immédiatement l'inspecteur et le chef de section.

Paris, le 19 septembre 1905.

TABLE DES MATIÈRES

TROISIÈME PARTIE

UPERSTRUCTURE (Suite)

LIVRE SECOND

GARES ET STATIONS

CHAPITRE PREMIER. — *Dispositions d'ensemble* 1

§ 1er. — Haltes 3

§ 2. — Petites stations. — Service des voyageurs. — Service des marchandises. — Dispositions adoptées dans le cas d'exploitation par trains mixtes. — Variantes. — Longueur des voies de garage. — Emplacement des petites stations. — Règle pratique. — Stations à service restreint 3

§ 3. — Stations de moyenne importance. — Lignes à voie unique. — Service des voyageurs, service des marchandises, service des machines. — Lignes à double voie 14

§ 4. — Gares principales. — Service des voyageurs, service des marchandises, service de la traction. — Gares de bifurcation. — Gares terminales. — Gares de rebroussement. — Gares de Paris. — Service des voyageurs. — Dispositions spéciales au service de la banlieue. — Gare Saint-Lazare. — Ancienne et nouvelle disposition. — Gare du Nord. — Service des marchandises. — Gares de triage. — Triage par la gravité. — Opinion du congrès international des chemins de fer. — Exemple d'établissement d'une gare de triage. — Gare de Périgueux 18

CHAPITRE II. — *Bâtiments des gares et stations* 39

§ 1er. — Service des voyageurs. — Petites stations. — Stations moyennes. — Gares principales. — Stations de bifurcation. — Gares terminales. — Gares de Paris. — Trottoirs. — Halles. — Fermes à la Polonceau. — Calcul de leur résistance. — Surface à donner aux bâtiments des voyageurs. — Prix de revient. 39

§ 2. — Service des marchandises. — Quais découverts. — Halles. — Type des petites stations. — Type des gares importantes. — Surface à donner aux quais à marchandises. — Prix de revient. — Bâtiments des stations à service restreint. 50

§ 3. — Service de la traction. — Remises de voitures. — Remises de machines. — Petites remises. — Fosses à piquer le feu. — Grands dépôts de machines. — Divers systèmes employés : rotonde, demi-lune, remise rectangulaire. — Prix de revient 57

CHAPITRE III. — *Alimentation des machines.* — Alimentation en charbon. — Quais à combustible. — Alimentation en eau. — Conditions a remplir. — Prise d'eau. — Qualité de l'eau à employer. — Essai hydrotimétrique. — Purification de l'eau. — Désincrustants. — Installation d'une prise d'eau. — Bâtiment de la machine fixe. — Conduite de refoulement. — Détermination du diamètre de la conduite. — Règle pratique. — Réservoir. — Distribution. — Grue hydraulique. — Grue-réservoir. — Prix de revient des prises d'eau. — Emploi du moulin à vent comme machine fixe. — Alimentation en route. — Tender américain . . 66

CHAPITRE IV. — *Appareils divers des stations.* — Grues de chargement. — Grues fixes et grues roulantes. — Prix de revient. — Ponts a bascule. — Prix de revient. — Gabarits de chargement. — Heurtoirs. — Taquets d'arrêt 87

CHAPITRE V. — *Trafic probable d'une station et d'un chemin de fer.* — Méthode de M. Michel. — Son application pour déterminer : 1° l'importance des installations d'une station ; 2° le trafic probable d'un embranchement. — Méthode de M. Cossmann. — Méthode de M. Baume 97

LIVRE TROISIÈME

SIGNAUX ET ENCLENCHEMENTS. — DÉPENSES DE LA SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE PREMIER. — *Code des signaux* 107

CHAPITRE II. — *Description des différents signaux employés.* — Distance de protection. — Différentes espèces de signaux. — Signaux à la main. — Drapeaux et lanternes. — Signaux fixes. — Signaux avancés. — Manœuvre des signaux avancés, transmission à un fil, compensateurs. — Manœuvre à deux fils. — Manœuvre à grande distance. — Poteaux limites de protection. — Appareils de contrôle du fonctionnement des disques : sonneries électriques, photoscope. — Disques automoteurs à pédale. — Signaux d'arrêt absolu. — Sémaphores. — Signaux de ralentissement. — Signaux indicateurs de bifurcation. — Signaux d'aiguilles. — Signaux détonants. — Pétards et appareils porte-pétards. — Appareils à contact fixe électrique 118

CHAPITRE III. — *Concentration des leviers. — Enclenchements.* 138

§ 1er. — Concentration des leviers. — Manœuvre des aiguilles à distance. — Appareils de contrôle du fonctionnement des aiguilles. — Sonneries électriques. — Appareils de calage. — Manœuvre des aiguilles par fils. — Appareils de manœuvre du réseau de l'État. 139

§ 2. — Enclenchements. — Principe de l'enclenchement. — Appareil Vignier. — Dispositions actuelles des enclenchements Vignier. — Appareil Saxby et Farmer. Enclenchements à distance. — Serrure Annett. — Serrure Bouré. — Appareils désengageurs. — Verrouillage des plaques tournantes. — Leviers d'itinéraire. — Théorie des enclenchements. — Applications des enclenchements. — Dépenses d'installation. 151

CHAPITRE IV. — *Dépense de la superstructure.* 172

QUATRIÈME PARTIE

MATÉRIEL ROULANT ET TRACTION

LIVRE PREMIER

MATÉRIEL ROULANT

CHAPITRE PREMIER. — *Dispositions générales.* — Caractères distinctifs du matériel ordinaire des chemins de fer. — Position de la caisse au-dessus des roues ; application de mentonnets aux bandages ; parallélisme des essieux ; calage des roues sur les essieux ; conicité des bandages. — Raisons de ces différences. — Énumération des différentes parties des wagons 177

CHAPITRE II. — *Description des différentes parties des wagons.* 181

§ 1er. — Châssis. — Châssis en bois, châssis mixtes en bois et fer, châssis en fer. — Éléments principaux des différents types de châssis employés sur les chemins de fer français 182

§ 2. — Essieux. — Dimensions des essieux. — Dispositions adoptées sur les chemins de fer allemands en ce qui concerne les dimensions des essieux. (Arrêté ministériel du 5 janvier 1886.) — Dimensions principales et poids des essieux employés sur les chemins de fer français. — Types d'essieux français et anglais. — Nature du métal employé ; essieux en acier. — Fabrication et épreuves des essieux. — Ruptures d'essieux ; moyens employés pour les éviter. — Avis de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Essieu-type des chemins de fer américains, pour voitures, wagons et tenders. 184

§ 3. — Suspension. — Profil parabolique des ressorts. — Dimensions et flexibilité des ressorts. — Menottes. — Double suspension. — Voiture de M. Reifert. — Conclusions du Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887) 197

§ 4. — Boîtes à graissage. — Graissage à la graisse et à l'huile. — Opinion du Congrès international des chemins de fer (Congrès de Milan, 1887). — Boîtes à galets. 204

§ 5. — Plaques de garde. — Importance d'un jeu de quelques millimètres entre les plaques de garde et les boîtes à graissage 209

§ 6. — Roues. — Roues à raies. Roues à moyeu en fonte et rais en fer. Roues Arbel. — Roues pleines, roues en fonte, en fer laminé, en acier fondu, en bois, en papier comprimé. — Bandages. — Types des grands réseaux français. — Embattage et mode d'attache des bandages. — Nature du métal employé. — Montage des roues. — Dimensions principales des roues des chemins de fer français. — Roues équilibrées. Opinion du Congrès international des chemins de fer. (Congrès de Milan, 1887). 212

§ 7. — Appareils d'attelage. — Appareils de traction et de choc. — Manille d'attelage. Tendeur à vis. Chaîne de sûreté. — Dispositions employées sur les chemins de fer français. — Attelages de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Attelages américains, — Attelages automatiques. — Essais en Europe. 226

CHAPITRE III. — *Voitures à voyageurs* 239

§ 1er. — Distinction entre les voitures du système anglais et les voitures du sys-

tème américain. — Leurs avantages et leurs inconvénients. — Voitures du type anglais à compartiments séparés. — Nécessité de l'intercommunication. — Voitures du type américain à circulation intérieure portées sur deux trucks. — Systèmes mixtes 240

§ 2. — Description du matériel à compartiments séparés. — Voitures françaises. — Voitures de l'Europe centrale. — Voitures anglaises. — Véhicules spéciaux : fourgons à bagages, bureaux ambulants, wagons-écuries. — Nombre et écartement des essieux 248

§ 3. — Description du matériel à circulation intérieure. — Voitures américaines. — Matériel suisse. — Applications du matériel américain en Europe. Grandes voitures à circulation intérieure. — Voitures des chemins de fer algériens. — Voitures tramways de la compagnie du Nord 271

§ 4. — Communication dans un train en marche. — Intercommunication électrique. Appareil Prudhomme. Appareil de l'Orléans. — Intercommunication pneumatique. — Appareils de l'Ouest, du Midi et de l'État. — Conclusion. . . 283

§ 5. — Éclairage. — Éclairage à l'huile végétale. Lampe à bec plat. Lampe à bec rond. — Éclairage à l'huile minérale. — Éclairage à la bougie. — Éclairage au gaz. — Éclairage électrique. — Conclusions. 288

§ 6. — Chauffage. — État de la question au point de vue réglementaire. — Appareils à chauffage intermittent. — Bouillottes mobiles à eau. — Procédé de réchauffage des bouillottes. — Bouillottes à l'acétate de soude. — Chaufferettes à sable. — Chaufferettes à feu. — Chaufferettes mixtes. — Appareils à chauffage continu. — Poêles. — Appareils à circulation d'air chaud. — Appareils à circulation d'eau chaude ou à thermo-siphon. — Appareils à circulation de vapeur. — Résumé et conclusions. 296

CHAPITRE IV. — *Wagons à marchandises.* — Ancienne variété des types, ses inconvénients. Leur réduction à trois types principaux. — Wagons plates-formes. — Wagons tombereaux. — Wagons fermés et couverts. — Wagons spéciaux. — Construction des wagons. Poids mort et chargement des wagons. — Wagons américains 310

CHAPITRE V. — *Dispositions du matériel en vue de la circulation dans les courbes. — Unité technique du matériel.* — Matériel ordinaire ou rigide. Jeu entre les plaques de garde et les boîtes à graissage. — Matériel articulé, système Arnoux. — Matériel américain. — Bogies. — Articulation de Bissel. — Essieux convergents de l'Union (Verein) des chemins de fer allemands. — Unité technique du matériel roulant. — Conférence internationale de Berne (1886). 318

CHAPITRE VI. — *Dépense d'acquisition du matériel roulant. — Résumé des dépenses d'établissement d'un chemin de fer* 326

§ 1er. — Dépense d'acquisition du matériel roulant. — Données statistiques. — Exemples d'effectif de matériel roulant. 326

§ 2. — Résumé des dépenses d'établissement d'un chemin de fer 330

LIVRE SECOND

PRODUCTION DU MOUVEMENT DES TRAINS

CHAPITRE PREMIER. — *Résistance des trains* 336

§ 1er. — Étude théorique de la résistance des trains. — Frottement des fusées. — Frottement des roues sur les rails. — Résistance de l'air. — Résistance due

aux déclivités. — Résistance due aux courbes. — Résistance due aux obstacles accidentels. — Formule générale 336

§ 2. — Formules pratiques. — Résistance propre du train. — Formule de Harding. — Formule des ingénieurs de l'Est. — Expériences de la compagnie d'Orléans. — Formules de M. Fink. — Expériences et formules de M. Desdouits. — Formules de M. Barbier. — Résistance due aux déclivités. — Résistance due aux courbes. — Résumé. — Résistance de la machine et du tender. — Exemples numériques. — Démarrage 342

CHAPITRE II. — *Puissance de traction de la locomotive*. 358

§ 1er. — De l'adhérence. — Limite qu'elle impose à l'effort de traction. — Accouplement des essieux. — Types principaux de machines : à roues libres, à roues accouplées, mixtes 358

§ 2. — Travail et effort de traction de la locomotive. — Démonstration de la formule générale : $R = \frac{\alpha p d^2 l}{D}$. — Conséquences qu'on peut tirer de cette formule. 364

§ 3. — Machines à trois essieux. — Application de la formule générale aux trois types de machines à trois essieux. Calcul de la puissance de ces machines. — Remarques. — Vitesse minima. 369

CHAPITRE III. — *Conditions de l'emploi de la locomotive pour la traction des trains* . . 381

§ 1er. — Détermination de la charge des trains. — Application des formules de la résistance des trains et de la puissance des locomotives. — Méthode du réseau de l'État. — Méthode de la compagnie d'Orléans 381

§ 2. — Machines à plus de trois essieux. — Machines à grande vitesse à quatre essieux. — Machines à quatre essieux accouplés. — Machines à cinq essieux accouplés de la compagnie d'Orléans. — Machine à six essieux de la compagnie du Nord. 397

§ 3. — Machines à adhérence artificielle. — Ce n'est pas le défaut d'adhérence qui limite, en général, les rampes des tracés de chemins de fer. — Utilité que peut présenter, dans certains cas, un supplément d'adhérence. — Système Fell. Chemin provisoire du mont Cenis. 401

§ 4. — Conclusions à tirer de l'étude de la locomotive au point de vue des tracés. Limites des déclivités et des courbes à adopter dans les différents cas. — Exemples de lignes à fortes rampes 408

Annexe A. — Gare de Thouars. — Consigne réglant les manœuvres de triage par la gravité 413

Annexe B. — Consigne réglant l'emploi et la manœuvre des serrures Bouré. . 418

ÉVREUX, IMPRIMERIE CH. HÉRISSEY ET FILS

89090509001
b89090509001a